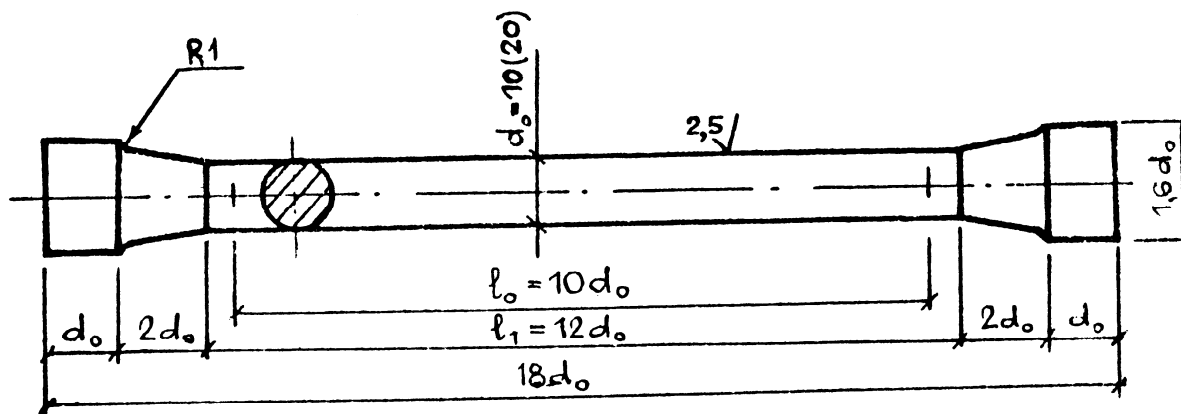


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА

Н.М. Яковенко, В.М. Бєляєва

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З КУРСУ
«МЕТАЛОЗНАВСТВО»

(для студентів 2 курсу денної і заочної форм навчання спеціальності
7.092601 – «Водопостачання і водовідведення»)



ХАРКІВ – ХНАМГ – 2008

Яковенко М.М., Беляєва В.М. Методичі вказівки до лабораторних робіт з курсу «Металознавство» (для студентів 2 курсу денної і заочної форм навчання спеціальності 7.092601–«Водопостачання і водовідведення») / Харків: ХНАМГ, 2008. – 52 с.

Рецензент: доц. Колотіло А.М.

Методичі вказівки до лабораторних робіт з курсу «Металознавство» до лабораторних робіт з металознавства містить опис випробувальних машин і приладів, основні теоретичні відомості до кожної роботи, методику і послідовність виконання робіт з визначення механічних характеристик різних матеріалів.

Розраховано для студентів 2 курсу спеціальності «Водопостачання і водовідведення».

Рекомендовано кафедрою водопостачання і водовідведення,
протокол № 8 від 21 березня. 2008р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Машини та прилади для випробувань.....	5
1.1. Універсальна випробувальна машина УВМ-50.....	5
1.2. Механічна машина ВМ-4Р для випробувань на розтяг.....	7
1.3. Випробувальна машина АМ-1.....	8
1.4. Маятниковий копер.....	9
1.5. Машина для випробувань на витривалість.....	10
1.6. Важельний тензометр.....	11
1.7. Електротензометр.....	13
1.8. Дзеркальний тензометр Мартенса.....	14
1.9. Індикатор годинникового типу.....	16
1.10. Прилади для визначення твердості.....	17
2. Лабораторні роботи.....	21
2.1. Лабораторна робота №1. Випробування сталевих нормального зразка на розтяг.....	21
2.2. Лабораторна робота №2 Визначення модуля пружності та межі міцності сталі при розтягу.....	26
2.3. Лабораторна робота №3 Випробування сталі на стиск.....	29
2.4. Лабораторна робота №4 Випробування чавуна на стиск.....	32
2.5. Лабораторна робота №5 Визначення коефіцієнта поперечної деформації сталі.....	34
2.6. Лабораторна робота №6 Випробування сталі на зріз.....	36
2.7. Лабораторна робота №7 Поперечний згин сталевих балок з визначенням модуля пружності	38
2.8. Лабораторна робота №8 Визначення нормальних напружень уздовж висоти перерізу при згині балки прямокутного перерізу	41
2.9. Лабораторна робота №9 Випробування сталевих циліндричних зразків на кручення.....	43
2.10. Лабораторна робота №10 Визначення питомої ударної в'язкості сталі.....	47
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	49
Додаток.....	50

ВСТУП

Опір матеріалів є наукою про інженерні методи розрахунку елементів споруд та машин на міцність, жорсткість і стійкість.

Найбільш важливим завданням опору матеріалів є виявлення причин та характеру руйнування конструкцій. Хоча це явище відоме здавна, його суть зрозуміла не повністю.

В опорі матеріалів тісно пов'язані теорія та експеримент, тому вивчення курсу опору матеріалів звичайно супроводжується роботами в механічній лабораторії. Вони дають базу при вивченні цієї дисципліни.

Роботи в лабораторії ставлять метою:

- познайомити студентів з основними механічними характеристиками матеріалів;
- показати закони, що пов'язують між собою напруження та деформації;
- проілюструвати фізичну суть явищ при різних деформаціях;
- обґрунтувати ті гіпотези, на яких базуються теоретичні висновки опору матеріалів.

До механічних характеристик матеріалів, що визначають їхню здатність опиратися зовнішнім силам, відносяться:

- модуль пружності та коефіцієнт Пуассона;
- межа пружності;
- межа пропорційності;
- межа текучості;
- межа міцності (тимчасовий опір);
- межа стомленості (витривалості);
- опір ударним навантаженням;
- питома робота деформації та ін.

Характеристики, що визначають здатність матеріалів деформуватися при навантаженні, є такі:

- абсолютна й відносна деформації (лінійна й кутова);
- прогин і кут повороту перерізу;
- кут закручення;
- поперечна деформація.

У лабораторних роботах передбачено вивчення властивостей як металевих (сталь, чавун) і неметалевих (дерево, пластмаса), так і композитних матеріалів, що дістали широке застосування в останні роки.

Перш ніж приступити до виконання тієї чи іншої лабораторної роботи, студент повинен засвоїти теоретичний матеріал, познайомитись з описом машин та приладів для визначення напружень і деформацій під час випробувань. Схеми зразків, принципові схеми машин та приладів, дані попередніх обмірів і експериментів необхідно заносити в спеціально розроблений журнал.

1. МАШИНИ ТА ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ

1.1. Універсальна машина для випробувань УВМ-50

На цій машині передбачена можливість виконання випробувань на розтяг, стиск та згин при максимальному навантаженні 500 кН (50 тс). Схема машини наведена на рис. 1, (фото. 1) Машина складається з трьох основних вузлів: силовий агрегат, силовимірювач та робоча частина.

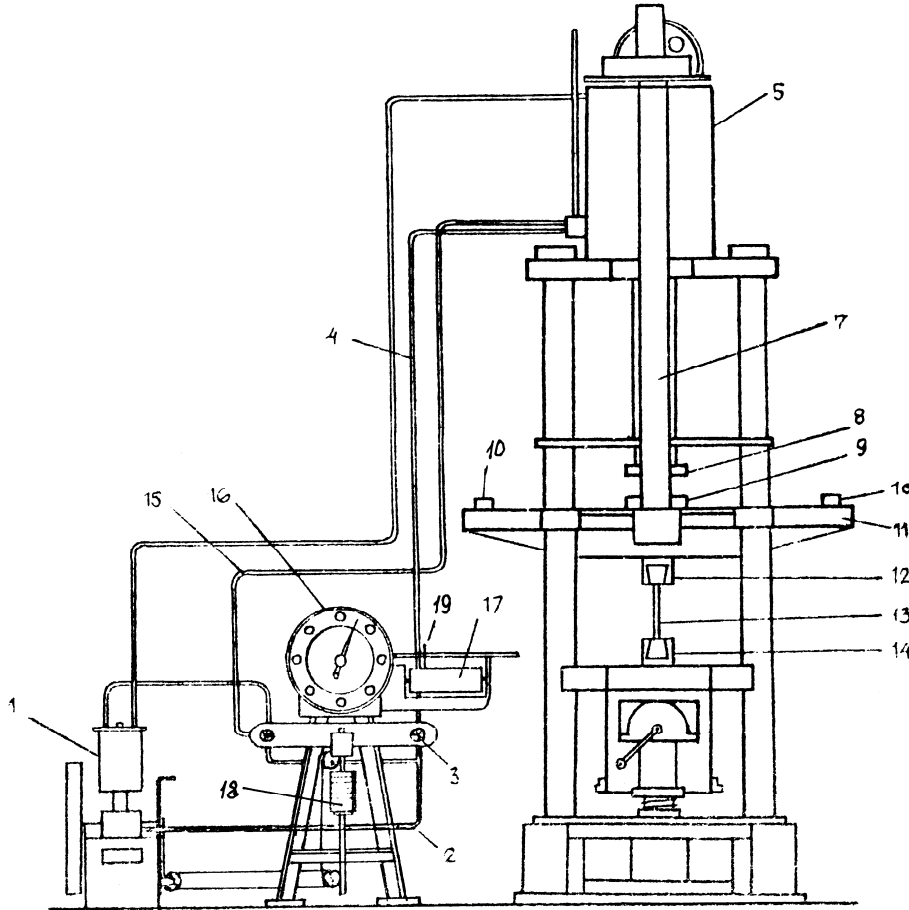


Рис. 1.

Силовий агрегат являє собою гідравлічний насос 1, який приводиться до дії електричним двигуном. Силовий агрегат зв'язаний трубопроводами 2, 4, 15 з силовимірювачем та робочою частиною.

Силовимірювач складається з гідравлічного циліндра, шток якого через важель з'єднаний з маятником 18. Маятник через зубчасту передачу пов'язаний зі стрілкою шкали 16 силовимірювача, а також через зубчасту рейку з олівцем 19, який зміщується уздовж осі барабана 17. Кут відхилення маятника, а отже й кут поворота стрілки на шкалі 16 та величина зміщення олівця на барабані 17 залежить від тиску рідини в циліндрі силовимірювача.

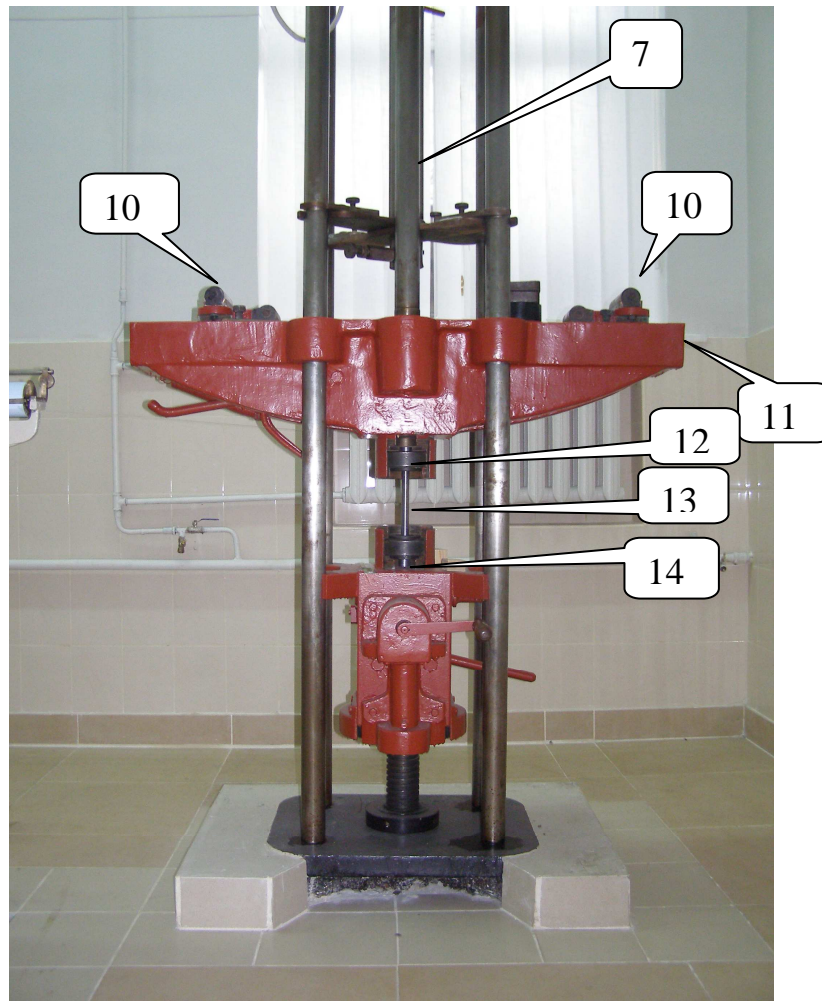


Фото1. Універсальна випробувальна машина УВМ-50

Робоча частина – це гідравлічний прес. Під тиском рідини поршень робочого циліндра 5 зміщується угору і піднімає через тяги 7 траверсу 11. При такому переміщенні між її захватом 12 та нижнім нерухомими захватом 14 станини здійснюється розтяг, а між упором 9 траверси та верхнім нерухомим упором 8 стиск. При випробуваннях на згин балку розміщують на верхніх опорах 10 траверси.

До траверси прикріплена нитка, другий кінець якої перекинтий через шків барабана 17 силовимірювача. Отже при переміщенні траверси барабан 17 повертається навколо своєї осі на відповідну величину.

При випробуваннях робоча рідина від насоса 1 через трубопровід 2, регулювальний вентиль 3 та трубопровід 4 подається до робочого циліндра 5. Поршень циліндра приходить в рух, приводячи до переміщення траверси 11. Отже здійснюється навантаження на зразок: стиск, або згин над траверсою чи

розтяг – під нею. Величина навантаження визначається тиском рідини у робочому циліндрі. Завдяки трубопроводу 15, що з'єднує робочий циліндр та силовимірювач, означений тиск передається на циліндр силовимірювача. Отже залежно від тиску робочої рідини стрілка на шкалі 16 силовимірювача відображає величину навантаження. При цьому олівець 19 на барабані 17 креслить криву залежності між навантаженням і переміщенням траверси (подовженням або покоротшанням відповідно розташованого зразка).

1.2. Машина ВМ-4Р для випробувань на розтяг

Машина ВМ-4Р призначена для випробувань матеріалів на розтяг. Максимальне зусилля, яке може бути досягнуто при випробуваннях, – 40 кН (4 тс).

Кінематична схема машини наведена на рис. 2.

Зразок встановлюють у зачіпки 21, які можна змінювати залежно від форми та розмірів зразка. Швидке пересування нижньої зачіпки при встановленні зразка здійснюється вручну за допомогою маховика, закріпленого на верхній частині гвинта 7. Завантаження здійснюється від електродвигуна 1 або вручну рукояткою 4. Рух від двигуна передається через систему черв'якових 13,9 та зубчастих 12,2 передач на гайку 10.

При обертанні гайки 10 гвинт 7 зміщується донизу. Закріплений у машині зразок з'єднує верхню і нижню зачіпки, за рахунок чого переміщення нижньої зачіпки викликає переміщення і верхньої зачіпки. Остання з'єднана з важелем 5, а через тягу 17 з маятником 3. Величина навантаження на зразок визначається відхиленням маятника 3 від вертикалі. Маятник з'єднаний важелем 18 з кареткою 14, яка пересувається уздовж шкали 6, відзначаючи відхилення маятника, а отже, і величину навантаження. Ціна поділки шкали становить 50 Н при одному вантажі на маятнику 3 і 100 Н при двох вантажах.

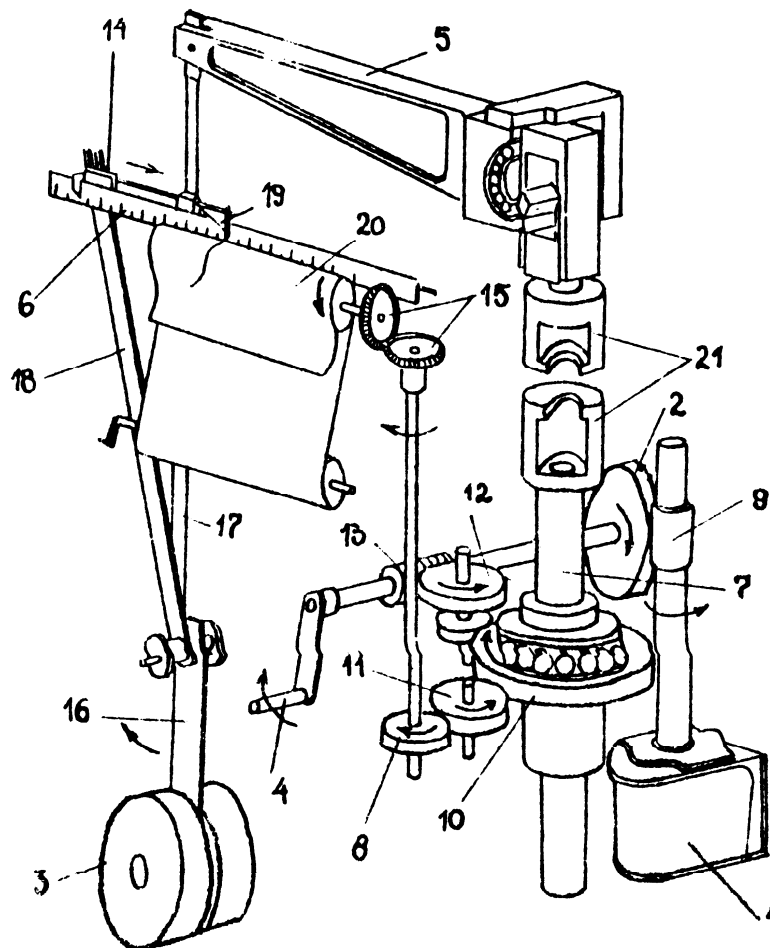


Рис. 2.

Машина має діаграмний пристрій, який дозволяє автоматично реєструвати результати випробувань. Олівець 19, закріплений у каретці 14, рухається вздовж барабана 20, оберненого міліметровим папером. Кут оберту барабана залежить від переміщення нижньої зачіпки 21, з якою він зв'язаний системою передач 8 та 15. Отже при випробуваннях на папері викреслюється графік залежності подовження зразка від навантаження.

1.3. Випробувальна машина АМ-1

Машина АМ-1 призначена для проведення випробувань на кручення. Схема машини наведена на рис. 3.

Зразок 2 закріплюють у зачіпках 1 машини. Прикладення крутного моменту здійснюється за допомогою рукоятки 3 силозбуджувача та зубчастої передачі. Права зачіпка при цьому обертається, викликаючи поворот лівої зачіпки, а отже і відхилення маятника 4 з вантажем Q . Відхилення маятника від вертикалі визначає величину крутного моменту M_k . Маятник через систему передач 6 зв'язаний із стрілкою шкали 5 силовимірювального пристрою, на якому реєструється величина M_k . Машина обладнана діаграмним пристроєм, на барабані 7 якого викреслюється крива залежності кута закручення від величини крутного моменту.

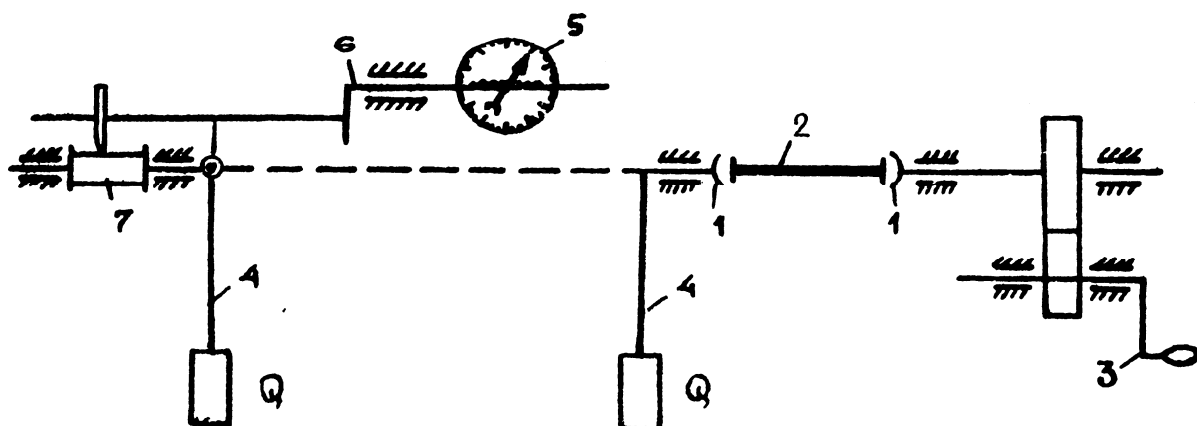


Рис. 3.

1.4. Маятниковий копер

Копер призначений для випробувань на ударну в'язкість матеріалів.

Схема копра наведена на рис. 4. (фото. 4.)

Маятник вагою G , піднятий на величину H , має певний запас енергії. При своєму падінні він витрачає частину енергії на руйнування зразка і, отже після проходження вертикалі підніметься на меншу величину h . Різниця $H - h$ визначає роботу, витрачену на руйнування зразка:

$$A = G(H - h).$$

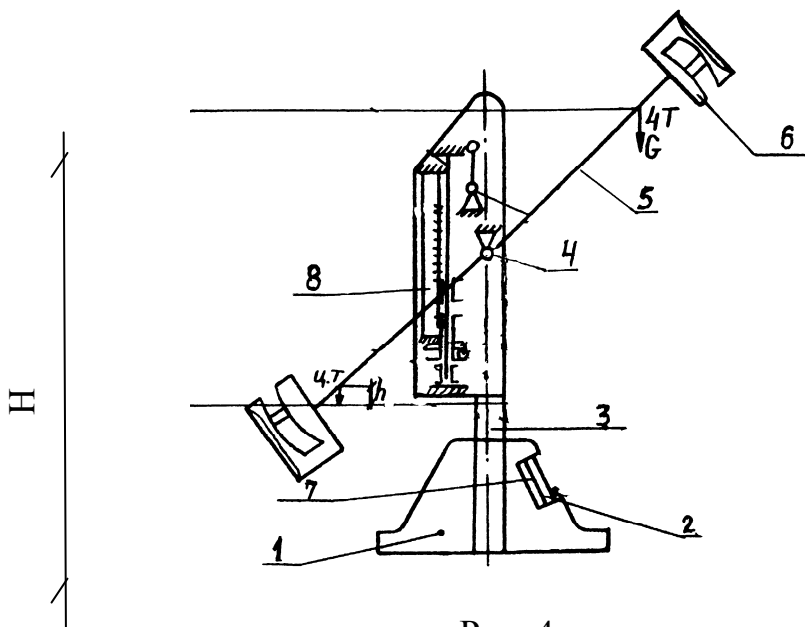


Рис. 4.

Машина має чавунну основу 1, на якій закріплені загартовані опори 2. На основі змонтовані два стояки 3, між якими закріплена вісь 4 маятника 5 з молотом 6. Маятник має пристрій, що дозволяє встановити його на певний кут зарядження (на певну величину H). Зразок 7 при випробуванні кладуть на опори 2. Реєструючий пристрій 8 копра влаштований так, що його покажчик

відзначає на шкалі різницю між висотою H маятника у вихідному положенні та висотою h після руйнування зразка.



Фото 4. Маятниковий копер

1.5. Машина для випробувань на витривалість

Випробування на витривалість проводять на машині, схема якої наведена на рис 5.(фото. 5.)

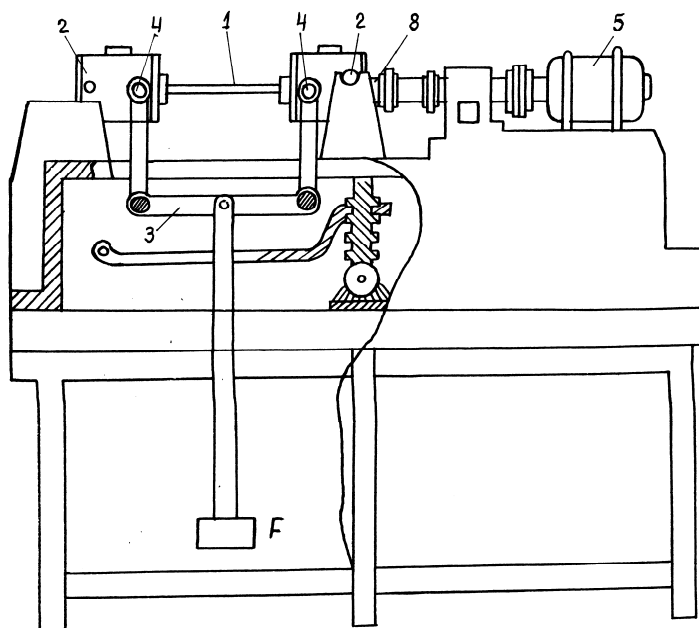


Рис. 5.

Зразок 1 встановлений в нерухомих підшипниках 2. Навантаження F передається на зразок через систему важелів та плаваючі підшипники 4. Електродвигун 5 через редуктор 7 та зачіпку 8 передає обертання на зразок. Оскільки площа навантаження залишається вертикальною, то при обертанні кожен переріз зразка зазнає змінних за величиною та знаком напружень. Кількість обертів, тобто кількість циклів завантаження, фіксується лічильником.

При руйнуванні зразка електродвигун автоматично вимикається.

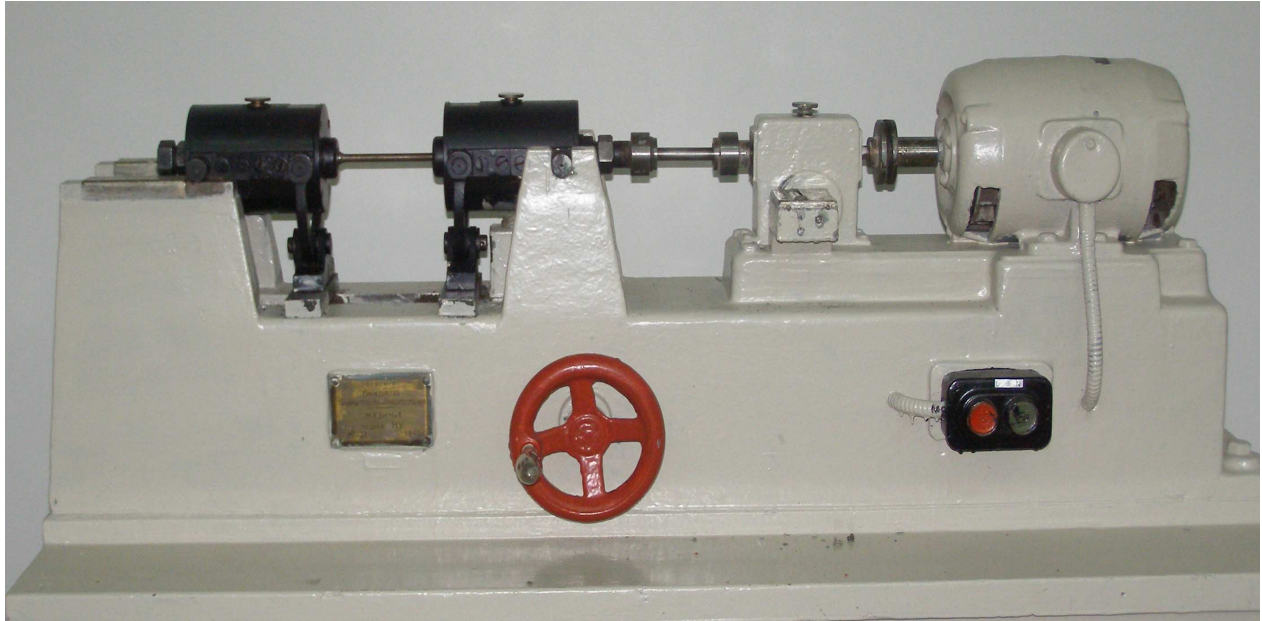


Фото 5. Машина для випробувань на витривалість

1.6. Важельний тензометр

Тензометри, зокрема важельний тензометр Гугенбергера, є приладами, призначеними для вимірювання деформацій.

Важельний тензометр (рис. 6) являє собою прилад, що працює за принципом механічного відліку подовжень.

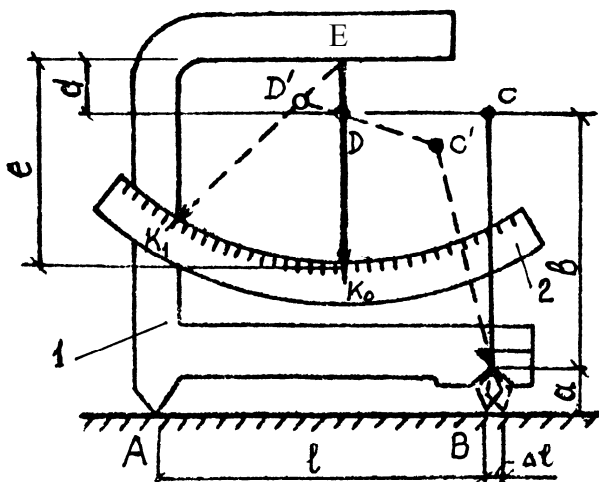


Рис. 6.

Станина 1 приладу має дві гострі ніжки: нерухому A й рухому B у вигляді призми, що хитається. Відстань AB називають базою приладу ℓ . З рухомою призмою B жорстко зв'язаний важель BC , інший кінець якого шарнірною тягою CD з'єднується зі стрілкою прилада EK_0 .

При подовженні бази тензометра на величину $\Delta\ell$ призма B разом з важелем BC нахилиється, кінець важеля зміщується в положення C' і кінець тяги D переходить у положення D' , відхиляючи стрілку приладу. Різниця відліків $K_1K_0 = \lambda$ пропорційна подовженню бази $\Delta\ell$:

$$CC' = \Delta\ell \cdot \frac{b}{a};$$

$$\frac{K_1K_0}{DD'} = \frac{\lambda}{CC'} = \frac{e}{d};$$

$$\lambda = CC' \cdot \frac{e}{d} = \Delta\ell \cdot \frac{e}{d} \cdot \frac{b}{a}.$$

Відношення $\frac{\lambda}{\Delta\ell} = \frac{e}{d} \cdot \frac{b}{a}$ являє собою коефіцієнт збільшення тензометра K . Зазвичай поділка шкали B становить 1 мм, а розміри a, b, d, e підбирають так, щоб коефіцієнт збільшення K був у межах 1000... 1200.

Значення коефіцієнта збільшення тензометра наведено в паспорті приладу. Отже знаючи K , за різницею відліків λ легко визначити подовження:

$$\Delta\ell = \lambda / K.$$

Для закріплення важельної системи в нерухомому стані тензометр має аретир – фіксуючий важель.

Правила роботи з тензометром

1. ***Перед встановленням приладу на конструкцію металеві поверхні зачищають, на деревині ставлять спеціальні кнопки, бетонні поверхні по можливості згладжують або вирівнюють рідким цементом.***
2. ***Тензометр ставлять на відповідне волокно із закритим аретиром і міцно закріплюють струбицею. При цьому площина тензометра повинна бути перпендикулярною до поверхні зразка.***
3. ***Після встановлення приладу аретир відпускають, а стрілку в положення початкового відліку підводять регулювальним гвинтом. Цим же гвинтом стрілку переводять у протилежний бік шкали, якщо під час випробувань стрілка дійде до кінця шкали й останньої не буде діставати для продовження відліків.***

4. *Відліки починають з деякого навантаження для того, щоб рухомі частини приладів були налаштовані на переміщення у певному напрямку і вплив вільних рухів був виключений.*
5. *При відліках слідкують за тим, щоб стрілка та її зображення у дзеркалі шкали співпадали. Відліки беруть з точністю до 1 поділки.*

1.7. Електротензометрія

Метод електротензометрії полягає в тому, що для виміру лінійних деформацій використовують тензорезистори, які наклеюють на поверхню зразка.

Дротовий тензорезистор (рис. 7) являє собою тонкий дріт, наклеєний кількома петлями на тонку паперову або лакову (плівкову) основу. Зверху він також заклеюється тонким папером або плівкою.

Довжина петлі ℓ є базою тензорезистора. Тензорезистори наклеюють на зразок клеєм (БФ-2, ВЛ-931, БФ-4, ВС-10 та ін.), отже тензорезистор деформується разом з поверхнею зразка.

При деформації дроту тензорезистора змінюється його електричний опір. Це дозволяє визначити деформацію за зміною електричного опору. Для цього використовують експериментальну залежність, згідно з якою зміна величини опору ΔR тензорезистора прямо пропорційна відносній деформації ε :

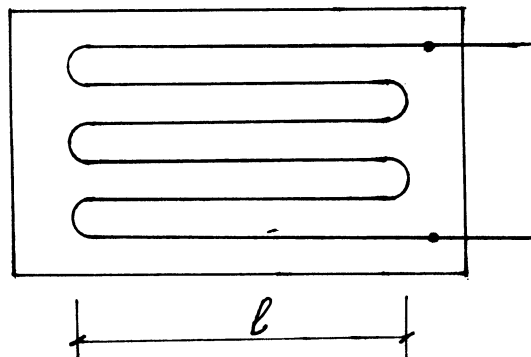


Рис. 7.

$$\Delta R = \varepsilon \cdot R \cdot K,$$

де R - початковий опір тензорезистора;

K - коефіцієнт тензочутливості, який залежить від матеріалу та бази тензорезистора.

Отже, відносна деформація

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{KR}.$$

Для роботи в лабораторних умовах зручні вимірювальні прилади для визначення деформацій з автоматичною балансування, в яких передбачена можливість підключення разом цілої низки тензорезисторів. Одним з таких приладів є електронний вимірювач деформацій $AB-1$. Цей прилад призначений для вимірювання статичної і повільно змінюваних деформацій за допомогою дровових тензорезисторів в одній або в багатьох точках.

Електрична схема $AB-1$ розрахована на застосування тензорезисторів з опором 70... 400 Ом та коефіцієнтом чутливості від 1,80 до 2,25. Ціна поділки шкали приладу становить $1 \cdot 10^5$ (при відповідному встановленні масштаба приладу); межа вимірювання відносних деформацій $\varepsilon = 1 \cdot 10^{-2}$.

Вимірювач деформацій $AB-1$ - електронний автоматичний врівноважений місток з живленням вимірювальної схеми змінним струмом 50 Гц та напругою 4 або 8 В. Робота $AB-1$ базується на нульовому методі вимірювання опору тензорезисторів.

При вимірюванні деформацій в кількох точках (кількома тензорезисторами) використовують електричний комутатор (багатоточечний перемикач). Комутатор дозволяє послідовно підключати кожний окремий тензорезистор до $AB-1$.

Для виключення впливу температури на результати випробувань на конструкції, що випробуються, за межами деформованої зони наклеюють так званий компенсаційний тензодатчик. Схема підключення наведена на рис. 8.

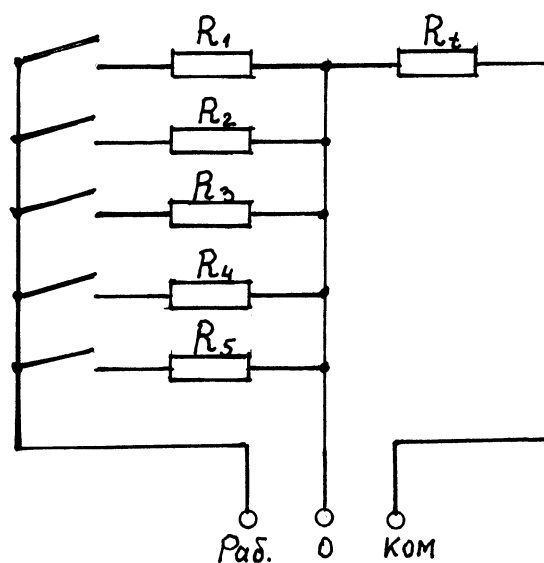


Рис. 8.

1.8. Дзеркальний тензометр Мартенса

Дзеркальний тензометр Мартенса призначений для вимірювання кутових деформацій, наприклад, кута поворота перерізу балки, кута закручення стержня та ін.

Тензометр (рис. 9) складається з дзеркальця 1 і зорової трубки 2 з мірною лінійкою 3.

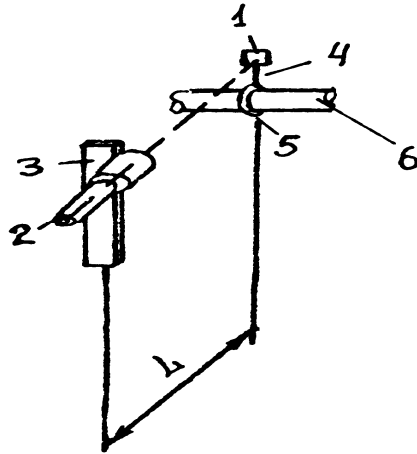


Рис. 9.

Дзеркальце 1 на стержні 4 за допомогою струбцини 5 закріплюється на зразку 6 в тому місці, де необхідно визначити кут повороту. Напроти дзеркальця на відстані L ставлять на штативі зорову трубку 2 з мірною лінійкою 3.

Трубку встановлюють так, щоб в ній було видно віддзеркалення шкали лінійки (рис. 10).

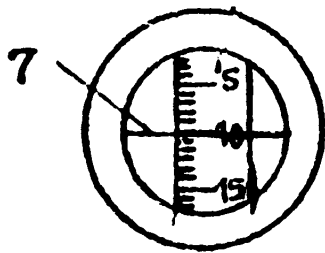


Рис. 10.

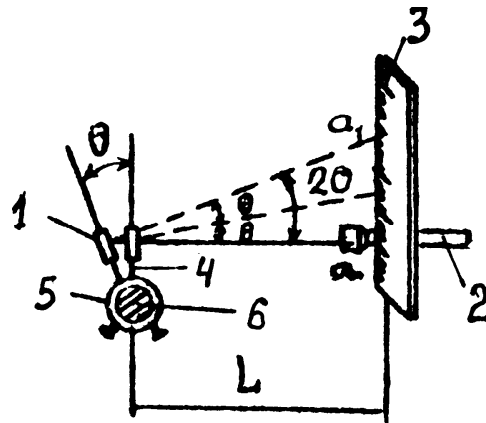


Рис. 11.

Волосок 7 трубки показує початковий відлік a на лінійці. При повороті перерізу на кут θ на такий самий кут повернеться і дзеркальце. При цьому спостерігач проти волоска зорової трубки зробить відлік a_1 на лінійці. Різниця відліків $a - a_1$ буде пропорційна куту повороту. На схемі (рис. 11) видно, що

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{a - a_1}{L}.$$

Оскільки деформації малі $\operatorname{tg} 2\theta \approx 2\theta$ і, отже

$$2\theta = \frac{a - a_1}{L}; \quad \theta = \frac{a - a_1}{2L} = \frac{a - a_1}{K},$$

де величину $K = 2 \cdot L$, виражену в міліметрах, можна вважати коефіцієнтом збільшення приладу.

1.9. Індикатор годинникового типу

Індикатор годинникового типу (прогиномір) (рис. 12,13) призначений для вимірювання лінійних переміщень.

У напрямних 2 корпусу 1 лінійно переміщується штифт 3. Він має рейкову різьбу і зчеплення з шестернею 4, на осі якої нерухомо закріплені стрілка 5 і шестерня 6. На осі шестерні 7, що знаходиться в зачепленні з шестернею 6 закріплена стрілка 8. При переміщенні штифта 3 шестерні 4, 5, 6 разом зі стрілками 5, 8 обертаються.

Індикатор має дві шкали: велику й малу. Велика шкала, вздовж якої рухається стрілка 8, відповідає переміщенням штифта від 0 до 1,0 мм і має 100 поділок. Отже одна поділка відповідає переміщенню штифта на 0,01 мм, а повне обертання стрілки 8 здійснить при переміщенні штифта на 1 мм. На малій шкалі стрілка 5 фіксує кількість повних обертів стрілки 8.

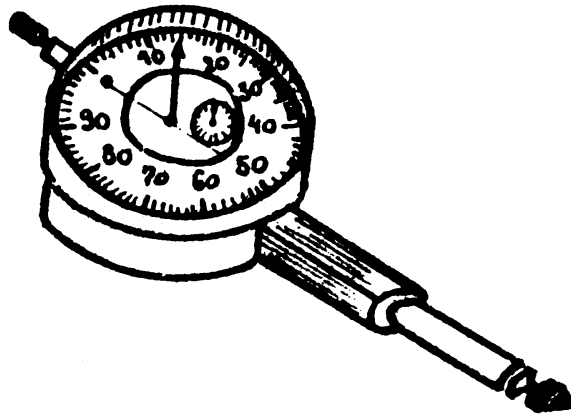


Рис. 12

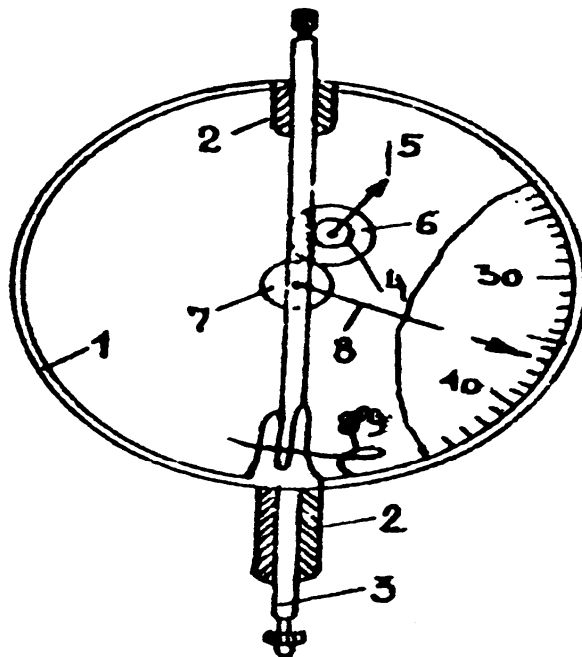


Рис. 13.

При вимірюванні переміщень індикатор встановлюють так, щоб кінець штифта 3 опирався в точку поверхні, переміщення якої вимірюється. У такому положенні з допомогою спеціальних кронштейнів та струбцин корпус індикатора закріплюється нерухомо. Завдяки пружині 9 кінець штифта весь час притиснутий до точки поверхні і при її переміщенні прямує за нею.

1.10. Прилади для визначення твердості

Твердість за Брінелем. Визначення твердості цим способом виконують з допомогою кулькових інденторів твердістю 850 КГс/мм^2 одного з трьох діаметрів – 2,5; 5 або 10 мм (рис. 14).

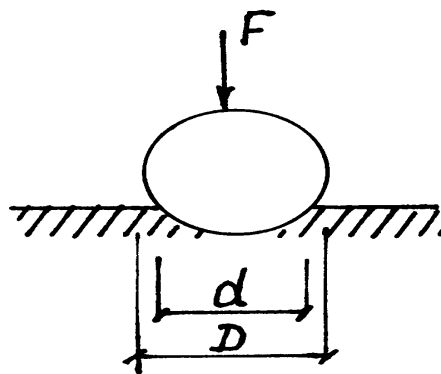


Рис. 14.

Число твердості за Брінелем HB має розмірність напружень КГс/мм^2 , але відповідно до стандарту її не пишуть.

Сталеву кульку діаметром D втискують у зразок, що випробується, на приладі Брінеля (рис. 15). Навантаження від вантажів $A, B, B, Г$ через важелі 8, 10 передається на приладі на кульку 6 протягом певного часу. Після зняття навантаження заміряють розмір d відбитка кульки на поверхні зразка. Число твердості за Брінелем HB визначають як відношення навантаження F до площі кульової поверхні відбитка.

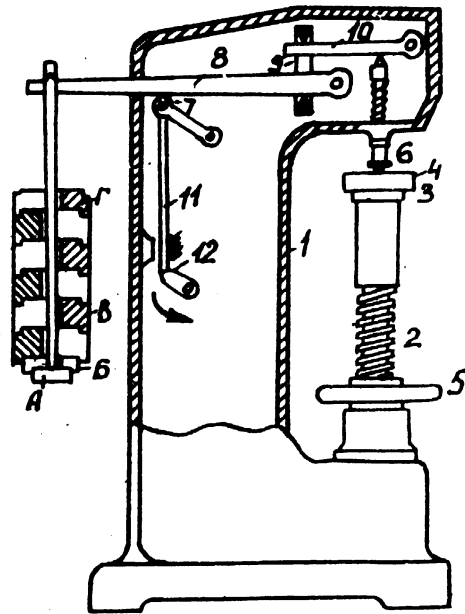


Рис. 15.

Твердість за Вікерсом. За розповсюдженням цей метод є другим після методу Брінеля. За цим методом в поверхню зразка втискають алмазний індентор у вигляді чотиригранної піраміди (рис. 16, а) з кутом при вершині $\alpha = 136^\circ$.

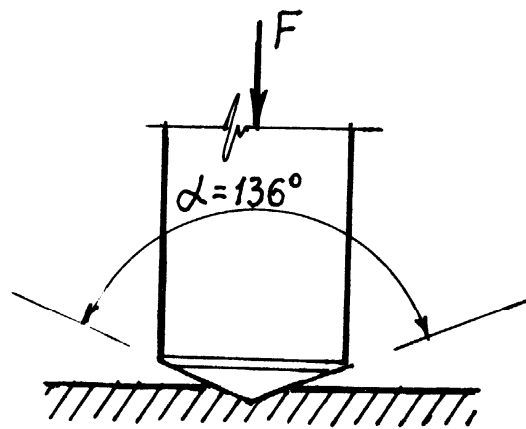


Рис. 16, а

Після зняття навантаження F , що діяло певний час (10... 15 с для чорних і 30 с для кольорових металів), вимірюють діагональ d відбитка (рис. 16, б) на поверхні зразка. Число твердості за Вікерсом HV визначають діленням навантаження в КГс на площу бічної поверхні одержаного пірамідального відбитка в мм^2 .

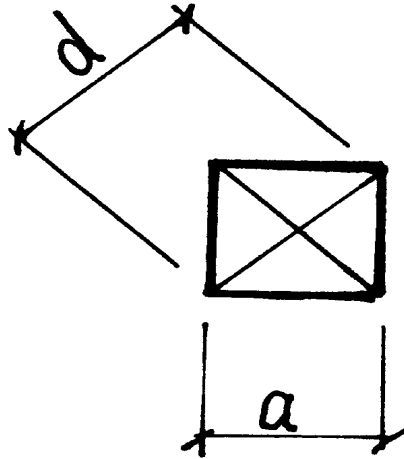


Рис. 16, б

Числа *HB* та *HV* близькі за величиною.

Твердість за Роквелом. При вимірюванні твердості за Роквелом індентором є алмазний конус з кутом при вершині 120° і радіусом закруглення 0,2 мм або сталева кулька діаметром 1,5875 мм ($1/16^{11}$), які втискають у зразок під дією двох послідовних навантажень – попереднього F_0 і загального $F = F_0 + F_1$ (F_1 – основне навантаження).

Індентор на приладі Роквела (рис. 17) втискають в поверхню зразка попереднім навантаженням $F_0 = 10$ кГс, яке не знімається до кінця випробувань. Під цим навантаженням індентор занурюється у зразок на глибину h_1 . Далі прикладається повне навантаження $F = F_0 + F_1$ і глибина занурення збільшується до h_2 . Після зняття основного навантаження F_1 , коли на індентор діє тільки попереднє навантаження F_0 , заміряють глибину його занурення h_3 . За останньою й визначається число твердості *HR* за Роквелом.

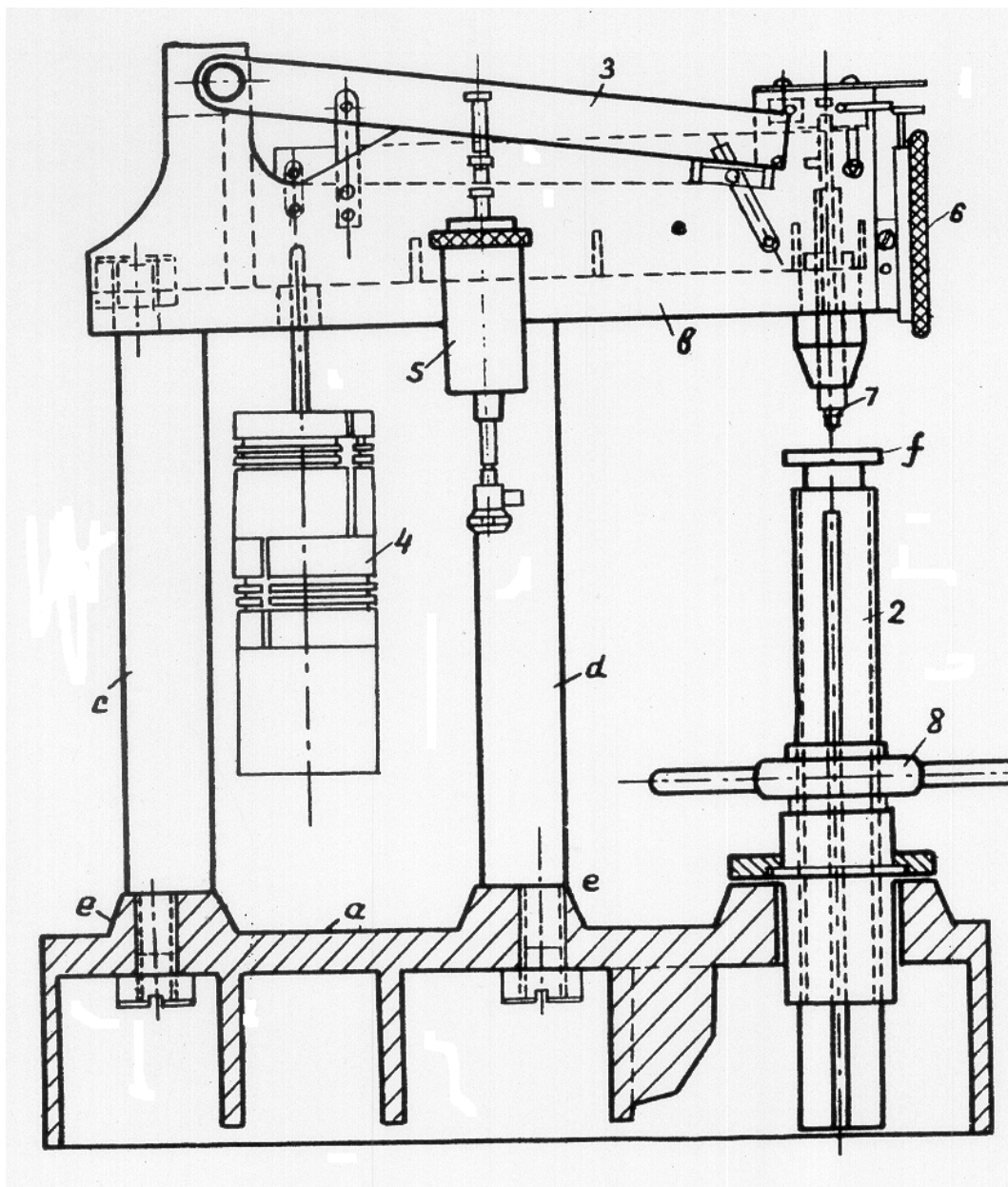


Рис. 17.

2. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

2.1. Лабараторна робота №1.

Випробування сталевго нормального зразка на розтяг

Мета роботи – одержання діаграми розтягу сталевго зразка, ознайомлення з методикою одержання механічних характеристик матеріалів на прикладі маловуглецевої сталі і визначення марки сталі за одержаними характеристиками міцності й пластичності.

За даними випробувань необхідно визначити:

- межу текучості σ_m ;
- межу міцності розриву σ_{max} ;
- абсолютне подовження розрахункової довжини $\Delta \ell$;
- відносне подовження ε ;
- відносне звуження після розриву ψ ;
- площу діаграми розтягу S ;
- повну роботу, що витрачена на розрив W ;
- питому роботу деформації w ;
- міру заповнення діаграми η ;
- марку сталі.

Машини та прилади для випробувань

Роботу виконують на універсальній випробувальній машині УВМ-50 (п. 1.1.) Вимірювання розмірів зразка виконують за допомогою штангенциркуля.

Зразок для випробування

Як показали експерименти, межа міцності матеріалу не залежить від довжини й форми перерізу зразка.

При випробуваннях на розтяг для досягнення порівнюваних між собою результатів використовують нормальні циліндричні зразки семи типів і плоскі зразки двох типів. Тип зразка визначається конструкцією його кінцівок.

У цій роботі використовується циліндричний зразок IV типу (рис. 18).

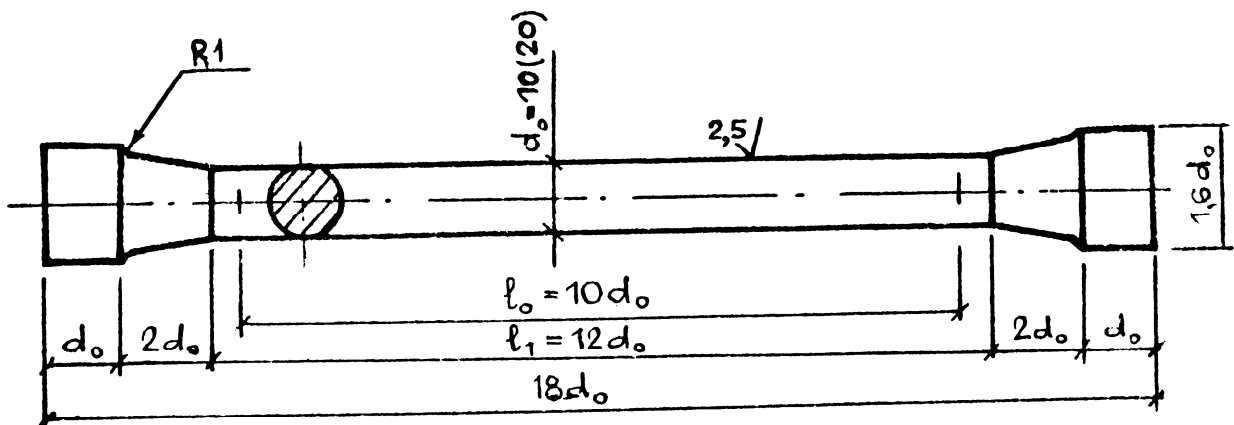


Рис. 18.



Фото.18. Циліндричний зразок для випробувань.

Діаметр перерізу такого зразка може бути взятий від 3 до 25 мм.

Розрахункова довжина ℓ_0 на зразках помічається рисками. Ця довжина повинна бути меншою, ніж відстань між кінцівками, щоб виключити вплив способу прикладання зовнішніх сил і концентрації напружень в місцях зміни перерізу. Зона цього впливу на підставі принципу Сен-Венана не перевищує меншого розміру перерізу.

Основні відомості з теорії

Особливості поведінки зразка при випробуванні на розтяг наочно ілюструються діаграмою розтягу – графіком залежності між навантаженням F та абсолютним подовженням $\Delta\ell$. Для маловуглецевої сталі вона має вигляд, наведений на рис. 19.

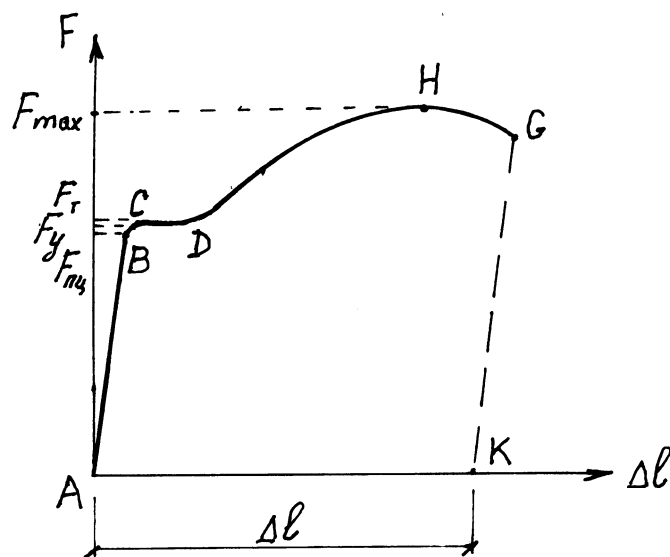


Рис. 19.

На цій діаграмі можна виокремити три ділянки: лінійна AB ; горизонтальна CD та нелінійна DHG .

На ділянці AB подовження $\Delta\ell$ пропорційне навантаженню F , тобто дійсний закон Гука. Величина $F_{mц}$ визначає навантаження, що відповідає межі пропорційності. Дуже близьке до нього значення F_y , яке визначає межу пружної роботи матеріалу.

На ділянці CD подовження $\Delta\ell$ зростають при незмінному навантаженні F_m . Таке явище, характерне для пластичних матеріалів, називається текучістю, а F_m – навантаження, що відповідає межі текучості матеріалу.

Коли зона текучості минає, навантаження знову зростає до F_{max} , після чого стрімко падає до миті розриву зразка (т. G). F_{max} – навантаження, що відповідає межі міцності матеріалу (тимчасовому опору).

Діаграма розтягу будується для даного зразка і її масштаб залежить від розмірів останнього. Тому на основі цієї діаграми будують діаграму напружень

– залежність між напруженнями $\sigma = \frac{F}{A_0}$ та відносним подовженням $\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell_0}$.

Ця діаграма є характеристикою матеріалу безвідносно до розмірів зразка. На діаграмі напружень зберігаються всі характерні точки діаграми розтягу.

Падіння навантаження після досягнення F_{max} обумовлене тим, що в цей час на зразку утворюється місцеве звуження – так звана шийка (рис. 20). В результаті цього несуча здатність зразка знижується. На рис. 20 d – діаметр шийки.

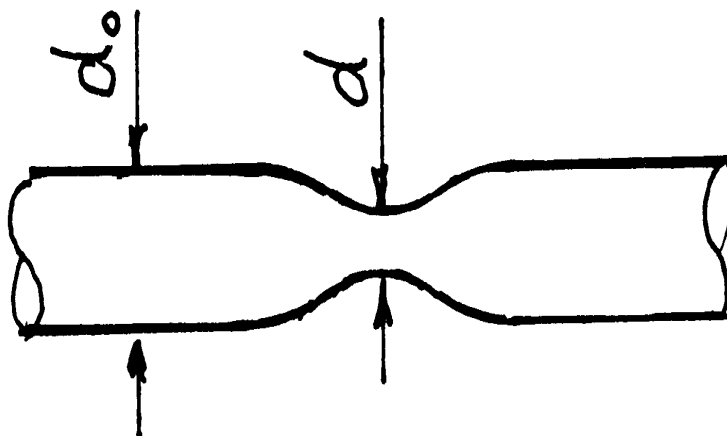


Рис. 20. Місцеве звуження у процесі випробування

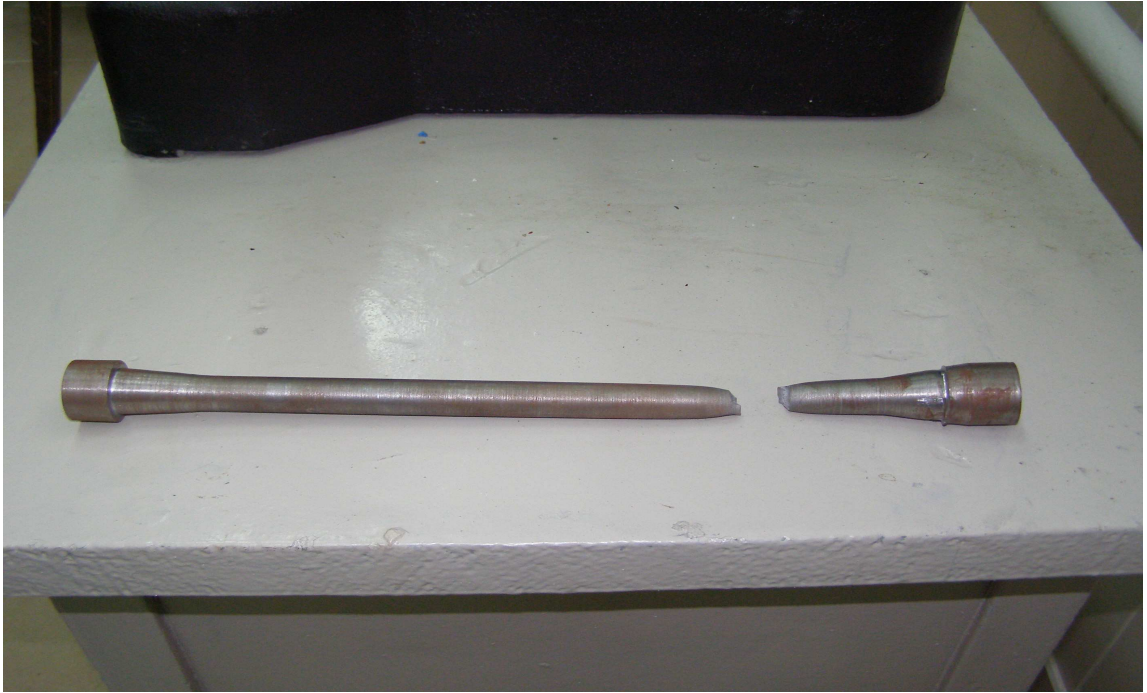


Фото. 20. Зразок після випробувань

Послідовність виконання роботи

За допомогою штангенциркуля вимірюють діаметр d_0 та розрахункову довжину ℓ_0 зразка, після чого закладають його в зачіпки машини УВМ-50.

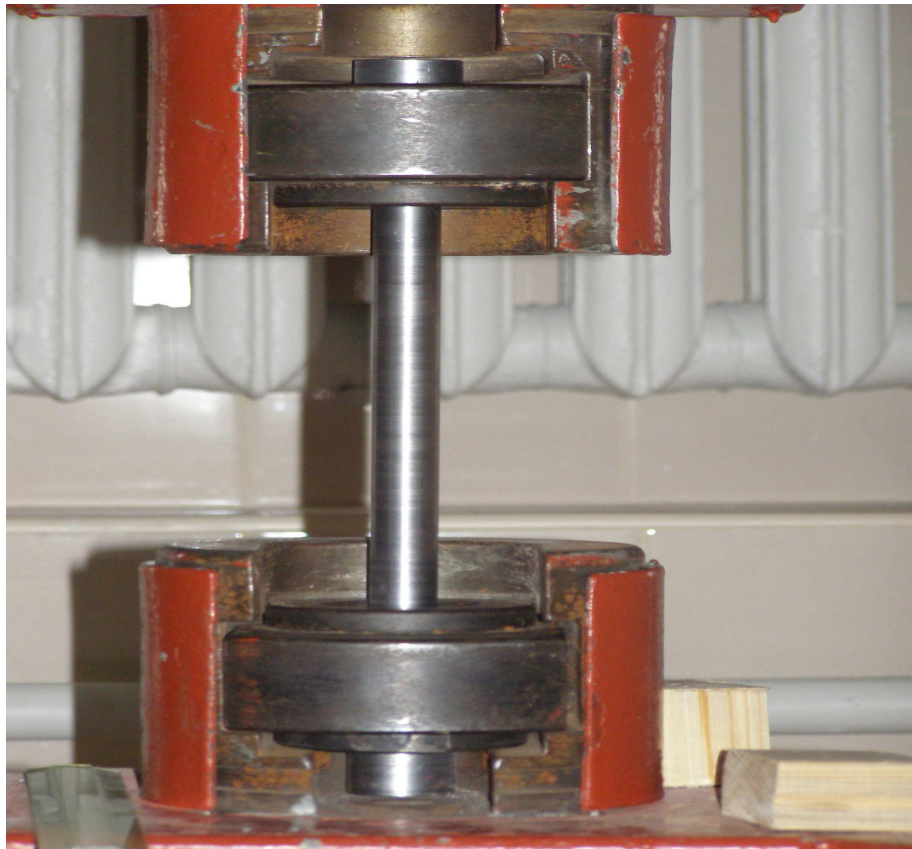


Фото. Розміщення зразка у зачіпках машини УВМ-50.

Перед початком випробувань проводять попередній натяг, щоб виключити вплив люфтів та сковзання зразка в зачіпках. Далі виставляють на барабан діаграмного апарата олівець і створюють зростаюче навантаження F , доводячи зразок до розриву.

Упродовж експерименту на силовій шкалі машини відзначають навантаження F_m , що відповідає межі текучості та F_{max} . Навантаження F_m відповідає тій стадії навантаження, коли при зупиненні збільшення зусилля відзначається зростання деформацій. Значення F_m та F_{max} одержують також за діаграмою, записаною на машині УВМ-50. На діаграмі вимірюють її площу S .

Після розриву зразка його частини виймають з машини і вимірюють довжину розрахункової частини ℓ та діаметр зразка в зоні розриву – діаметр шийки d .

Далі за одержаними даними випробувань виконують обчислення:

- площа перерізу зразка до випробувань

$$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4};$$

- площа шийки зразка (в місці розриву)

$$A = \frac{\pi d^2}{4};$$

- межа текучості матеріалу $\sigma_m = F_m / A_0$;

- межа міцності $\sigma_{max} = F_{max} / A_0$;

- абсолютне подовження $\Delta\ell = \ell - \ell_0$

- (ℓ - довжина розрахункової частини зразка після розриву);

- відносне подовження $\varepsilon = \Delta\ell / \ell_0$;

- коефіцієнт звуження шийки $\psi = \frac{A_0 - A}{A_0}$;

- робота, витрачена на розрив зразка $W = S \cdot m \cdot n$

- (S – площа діаграми розтягу, m та n – масштаби сил та переміщень, які наведені в паспорті машини);

- питома робота деформації $w = \frac{W}{A_0 \ell_0}$;

- межа заповнення діаграми $\eta = \frac{W}{F_{max}(\ell - \ell_0)}$.

Маючи межу міцності, відносне подовження і межу текучості, визначають марку сталі зразка (див. табл. 1, Додатку).

Контрольні запитання

1. Яка мета роботи?
2. Які параметри характеризують міцність матеріалу?
3. Які параметри характеризують пластичність матеріалу?
4. Назвіть характерні точки діаграми розтягу?
5. Які деформації мають місце в процесі деформації зразка до руйнування?
6. Як за даними випробувань визначають марку матеріалу?
7. Яке призначення має машина УВМ-50?
8. Який принцип роботи машини УВМ-50?

2.2. Лабораторна робота №2

Визначення модуля пружності та межі пропорційності сталі при розтягу

Мета роботи – визначення модуля пружності та межі пропорційності сталі при розтягу.

Машина та прилади для випробувань

Випробування можна проводити на будь-якій розривній машині, наприклад на УВМ-50 (п. 1.1).

Для вимірювання деформацій застосовують механічний тензометр МК-3 або важельний тензометр Гугенбергера (п. 1.6).

Поширеним є також метод визначення деформацій за допомогою тензорезисторів (п. 1.7).

Зразок для випробувань

У роботі використовують нормальний циліндричний зразок типу IV (див. лабораторну роботу 2.1).

Основні відомості з теорії

Як відомо, при роботі матеріалу в пружній стадії він підпорядковується закону Гука так, що однаковим приростам ΔF навантаження відповідають однакові прирости $\Delta \ell$ подовження зразка.

Ця пропорційність між навантаженнями і деформаціями при деякому значенні F_{nc} навантаження порушується. Деформації, як правило, починають зростати швидше, ніж навантаження. Напруження σ_{nc} , при якому порушується лінійна залежність між силою і деформацією, називається межею пропорційності.

Для визначення F_{nc} зразок завантажують поступово на випробувальній машині рівними частками ΔF . При кожному значенні навантаження приладом для заміру деформацій визначають збільшення довжини розрахункової ділянки зразка (бази вимірювального приладу). Звичайно, в межах пропорційності

кожній частці навантаження відповідатиме збільшення цієї ділянки на однакову величину $\delta\Delta\ell$ (рис. 21). Фактично через похибки експерименту ці величини $\delta\Delta\ell$ будуть відрізнятися на малі частки міліметра.

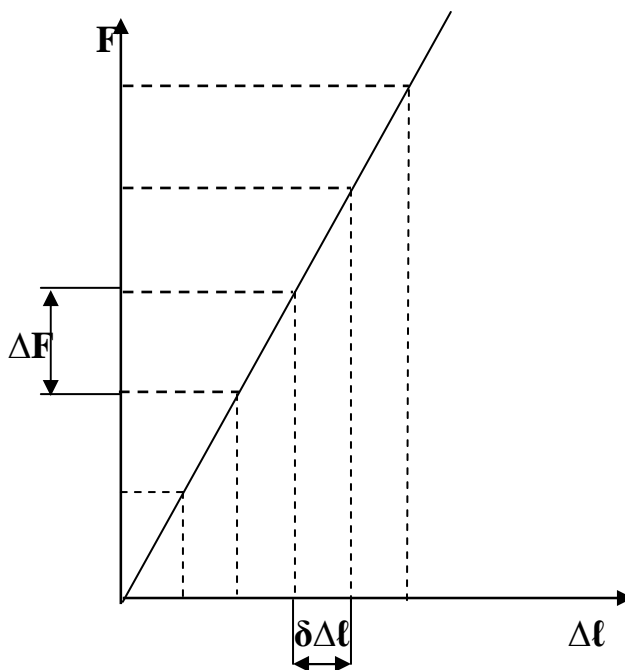


Рис. 21.

Після досягнення навантаження значення $F_{m\ell}$ пропорційність між навантаженнями та подовженнями порушується і тим самим часткам ΔF будуть відповідати збільшені прирости подовжень $\delta\Delta\ell$. За відхиленнями від пропорційності визначають $F_{m\ell}$.

Модуль пружності E , що характеризує пружні якості матеріалу, визначають з формули для абсолютного подовження:

$$E = \frac{F\ell}{A_0\Delta\ell}.$$

У цій формулі F - навантаження в межах пропорційності;

A_0 - площа перерізу зразка;

ℓ - база вимірювального приладу;

$\Delta\ell$ - подовження бази, що відповідає навантаженню F .

Зрозуміло, що замість абсолютного значення F для визначення модуля пружності можна взяти приріст навантаження ΔF . Тоді замість $\Delta\ell$ необхідно брати приріст подовження $\delta\Delta\ell$:

$$E = \frac{\Delta F \cdot \ell}{A_0 \delta\Delta\ell}.$$

Послідовність виконання роботи

Перед початком випробувань виміряють зразок. Згідно з обраним типом тензометра визначають розрахункову довжину зразка (базу тензометра). Ці значення заносять у журнал спостережень.

Далі зразок закріплюють у зачіпках машини і встановлюють по обидва боки зразка тензометри. Перед випробуванням дають незначне навантаження (1 кН) для того, щоб обтиснути кінцівки зразка й усунути нещільності. При цьому навантаженні знімають перші відліки A_1 на правому й A_2 на лівому тензометрах.

Випробування проводять, збільшуючи навантаження однаковими частками $\Delta F = 10$ кН. Експеримент закінчують тоді, коли матеріал зразка починає текти, що показує різке зростання відліків на тензометрах без збільшення навантаження.

Обробку результатів випробувань починають з визначення навантаження $F_{нц}$. Для цього підсумовують відліки A_1 та A_2 по лівому й правому тензометрах для кожного навантаження, а потім обчислюють прирости $\Delta(A_1 + A_2)$ цих сум. Навантаження, при якому ці прирости різко збільшуються, вважають $F_{нц}$.

Межу пропорційності обчислюють за формулою

$$\sigma_{нц} = \frac{F_{нц}}{A_0}.$$

Обчислення модуля пружності виконують через середній приріст деформацій

$$\Delta \ell_{cp} = \frac{\Sigma \Delta(A_1 + A_2)}{2n} \cdot \frac{K}{10000}, \text{ см},$$

де n - кількість приростів сум відліків, що враховані при визначенні середнього відліку;

K - ціна поділки тензометра.

Модуль пружності при розтягу

$$E = \frac{\Delta F \cdot \ell}{A_0 \Delta \ell_{cp}}.$$

Контрольні запитання

1. Що таке модуль пружності першого роду?
2. В яких розрахунках потрібний модуль пружності?
3. Яка фізична суть модуля пружності?
4. Для чого призначені тензометри?
5. Чому при визначенні E напруження не повинні перебільшувати межу пропорційності?
6. Що є базою тензометра?

2.3. Лабораторна робота №3

Випробування сталі на стиск

Мета роботи: вивчення властивостей пластичних матеріалів при тиску і визначення їхніх механічних характеристик.

Випробувальна машина. Випробування проводять на випробувальній машині УВМ-50 (п. 1.1).

Зразок для випробувань

Для випробування використовують зразок у вигляді циліндра з відношенням висоти до діаметра $\frac{h}{d} = 1 \dots 3$. Стиск проводять центральними навантаженнями паралельно осі зразка. На міцність та характер деформацій впливають сили тертя, що діють у площинах контакту між торцями зразка і опорними плитами машини. Якщо змастити торці зразка для зменшення сил тертя, величина межі міцності виявляється меншою, ніж при відсутності мастила. Щоб одержати порівнювані результати, наявність чи відсутність змащування необхідно зазначати. Сили тертя протидіють деформації зразка у поперечному напрямку. Вплив цих сил зменшується при віддаленні від торців до середини. Через це зразок при стиску стає бочкоподібним (рис. 22).

Враховуючи вплив сил тертя на результати експерименту, не рекомендується вживати дуже короткі зразки. Не слід застосовувати також довгі зразки, оскільки внаслідок хоча незначних ексцентриситетів прикладання навантаження крім стиску з'явиться згин. При збільшенні довжини зразка зростає і вплив згину.

З теорії

При стиску зразок покоротшується і розширюється замість подовження та звуження при розтягу. Всі механічні характеристики матеріалів зберігають ті самі визначення та позначення, що й при розтягу.

Отже, відносне покоротшання

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0},$$

де h_0 та h - висота зразка відповідно до та після експерименту.

Відносне поперечне розширення

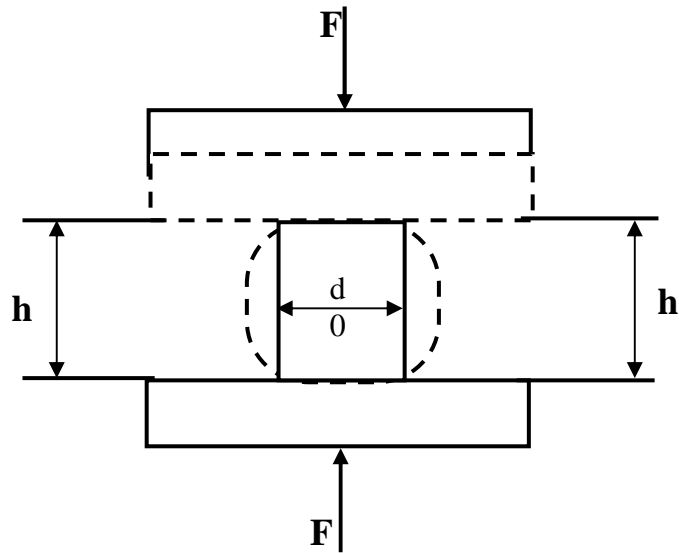


Рис. 22.

$$\psi = \frac{A - A_0}{A_0},$$

де A та A_0 - площа перерізу зразка відповідно після та до експерименту.

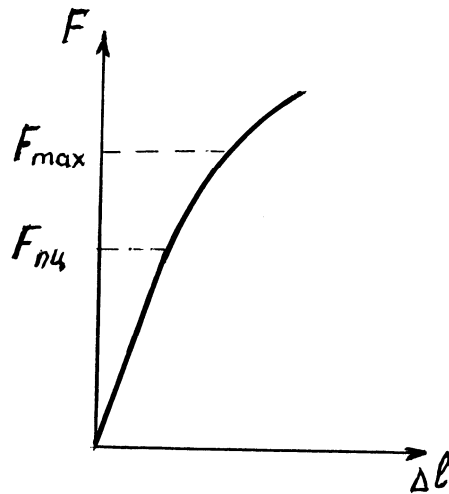


Рис. 23.

З діаграми стиску м'якої сталі (рис. 23) видно, що в початковому періоді завантаження, як при розтягу, має місце пропорційність між силою та деформацією. Після досягнення навантаження, що відповідає межі пропорційності, лінійна залежність порушується: деформації зростають швидше, ніж навантаження. При подальшому збільшенні стискуючої сили зростання деформацій поступово стає повільним за рахунок збільшення перерізу зразка. Оскільки зразок під дією зростаючого навантаження поступово розплющується, визначити руйнуюче навантаження неможливо. Тому випробування переривають при деякому навантаженні F_{max} , обмежуючись вивченням поведінки та характеру деформацій пластичної сталі при стиску.

Випробування на стиск для пластичного матеріалу є додатком до випробувань на розтяг.

Визначення напружень за формулою

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A_0}$$

дає дуже умовні величини через неоднаковість перерізів зразка вздовж висоти.

Межу пропорційності при стиску можна визначити так само, як і при розтягу:

$$\sigma_{пц} = \frac{F_{пц}}{A_0}.$$

Послідовність виконання роботи

Перед початком випробувань заміряють діаметр перерізу та висоту сталевих зразків.

Зразок розміщують між стискуючими площинами випробувальної машини та проводять його поступово зростаюче навантаження. Одночасно спостерігають деформації зразка. Коли стискуюча сила досягає 350... 400 кН, випробування переривають.

Вимірюють діаметр та висоту зразка після деформації.

Обчислюють нормальне напруження сталі при максимальному навантаженні.

Результати замірів та обчислень заносять у журнал спостережень.

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Яка форма перерізу зразка для випробувань?
3. Яке відношення висоти до діаметру перерізу повинен мати зразок?
4. Який вигляд має діаграма стиску?
5. Чи впливають сили тертя між торцями зразка та опорними плитами на форму деформування зразка і результати випробувань?
6. За якою формулою обчислюють межу пропорційності сталі при стиску?
7. Яка розмірність умовної межі міцності й межі пропорційності сталі?
8. Якої форми набуває зразок при стиску?
9. За якими формулами визначають відносне покортшення та відносне розширення зразка?

2.4. Лабораторна робота №4

Випробування чавуна на стиск

Мета роботи: вивчення властивостей крихких матеріалів при стиску та визначення межі міцності чавуна.

Випробувальна машина

Експеримент виконують на випробувальній машині УВМ-50.

Зразок для випробувань

Випробування чавуна на стиск звичайно проводять на зразках циліндричної форми з відношенням висоти до діаметра у межах $h/d = 1...2$ (рис. 24).

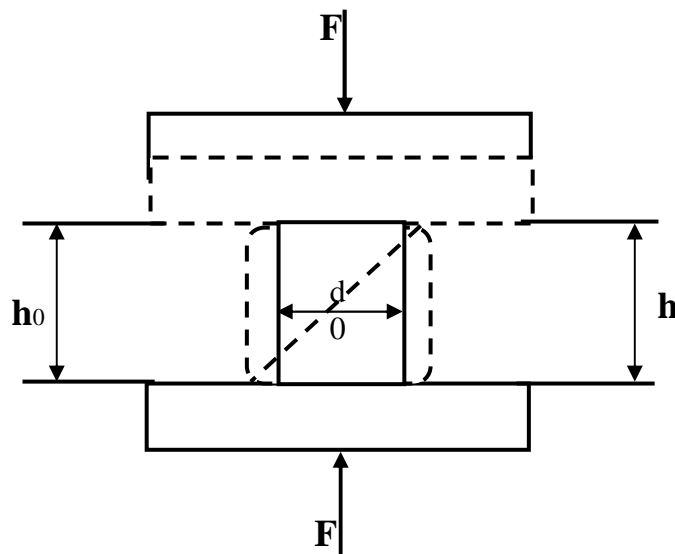


Рис. 24.

Для таких крихких матеріалів, як камінь та бетон звичайно зразок беруть у вигляді куба.

Основні відомості з теорії

Крихкі матеріали (чавун, камінь, бетон та ін.) на стиск працюють значно краще, ніж на розтяг, тому вони використовуються саме в стиснутих елементах споруд. Отже випробування на стиск для таких матеріалів є основними.

На початку дії навантаження діаграма стиску чавунного зразка дуже близька до прямої (рис. 25). Відхилення її від осі F мале. Точна пропорційність між навантаженнями та покоротшаннями відсутня, тобто закон Гука в цьому випадку не діє. Однак в межах тих напружень, при яких матеріал звичайно застосовується в конструкціях, відхилення від закону Гука незначне і на практиці ним нехтують.

При збільшенні навантаження діаграма суттєво викривляється, зростання деформацій випереджає зростання навантаження. Руйнування зразка відбувається миттєво при достатньо значному навантаженні F_{max} . Руйнування

відбувається вздовж похилих площин, кут яких з віссю зразка складає $45... 50^{\circ}$. Цей кут нахилу площин руйнування близький до кута нахилу найбільших дотичних напружень.

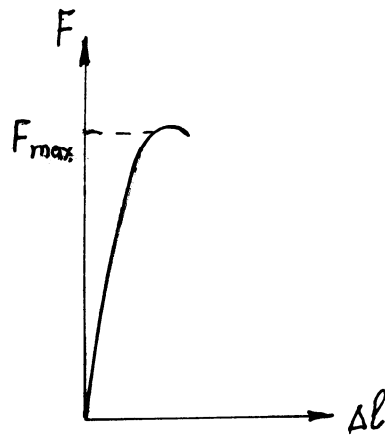


Рис. 25.

Стиснутий зразок змінює попередню циліндричну форму на бочкоподібну, що свідчить про наявність невеликих пластичних деформацій.

Межу міцності чавуна визначають за відомою формулою

$$\sigma_{max} = F_{max} / A_0.$$

Відзначимо, що діаграми стиску і розтягу крихких матеріалів мають однакову форму, але межа міцності при стиску ($500... 1000$ МПа) в декілька разів перевищує межу міцності при розтягу ($210... 320$ МПа).

Послідовність виконання роботи

Після вимірювання зразок встановлюють між стискуючими площинами машини і проводять його стиск до руйнування. Значення навантаження F_{max} , при якому відбулося руйнування, заносять в журнал спостережень.

Обчислюють межу міцності чавуна на стиск і за табл. 2 Додатку визначають марку чавуна.

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Яка форма перерізу зразка для випробувань?
3. Який вигляд має діаграма стиску чавуна?
4. Для яких матеріалів випробування на стиск має важливе практичне значення?
5. Як відрізняються діаграми стиску чавуна та сталі?
6. Чому руйнування зразка відбувається вздовж площин, нахилених під кутом 45° до його осі?
7. За якою формулою визначають межу міцності чавуна при стиску?

2.5. Лабораторна робота №5

Визначення коефіцієнта поперечної деформації сталі

Мета роботи: визначити коефіцієнт поперечної деформації – коефіцієнт Пуассона.

Випробувальна машина та прилади

Для проведення випробувань можна використати як гідравлічні, так і механічні машини для розтягу. Цю роботу виконують на машині ВМ-4Р (п. 1.2).

Для заміру деформацій використовують механічні тензометри або тензодатчики (п. 1.6, 1.7).

Зразок для випробувань

Для розтягу використовують плоский сталевий зразок прямокутного перерізу довільної ширини та товщини. Щоб виключити вплив напруженого стану в місцях затиску зразка на показання тензометрів, вважають, що його довжина повинна в чотири-п'ять разів перевищувати ширину.

Основні відомості з теорії

Велика кількість експериментів довели, що при одноосному розтягу (стиску) сталевий стержень останній змінює свої розміри як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках. При одноосному розтягу поздовжні його розміри збільшуються, а поперечні зменшуються. Здатність матеріала до деформування характеризується відносними деформаціями:

поздовжньою

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}$$

та поперечною

$$\varepsilon' = \frac{\Delta b}{b_0},$$

де $\Delta \ell = \ell_1 - \ell_0$ - абсолютна поздовжня деформація, що визначається як різниця між довжиною ℓ_1 стержня при дії навантаження та первісною довжиною ℓ_0 ;

$\Delta b = b_1 - b_0$ - абсолютна поперечна деформація, що визначається як різниця між шириною b_1 стержня при дії навантаження та первісною шириною.

Модуль частки, одержаної діленням відносної поздовжньої на відносну поперечну деформацію, називається коефіцієнтом поперечної деформації або коефіцієнтом Пуассона:

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right|.$$

Коефіцієнт Пуассона залежить виключно від пружних властивостей матеріалу і для кожного матеріалу постійний в межах лінійної пружності. Модуль пружності та коефіцієнт Пуассона цілком характеризують пружні властивості матеріала. Для реальних матеріалів ν може приймати значення від

0 до 0,5. Так, для пробки $\nu = 0$, для каучука та парафіна $\nu \approx 0,5$. Для більшості матеріалів ν знаходиться в межах 0,25...0,3 і не залежить від знака навантаження, тобто є однаковим при розтягу й стиску. Для дюралю $\nu = 0,31...0,36$. Для пластиків дані про стійкі значення ν відсутні.

Послідовність виконання роботи

Зразок з наклеєними тензодатчиками закріплюють в зачіпки машини з перевіркою його центровки. При застосуванні важельних тензометрів їх ставлять після закріплення зразка в машині. Схема розташування тензодатчиків або тензометрів показана на рис. 34. Тут позначено: 1 – тензометр, розташований вздовж напрямку дії навантаження (на поздовжній осі зразка), 2 – поперек дії навантаження.

Навантаження прикладають частками $\Delta F = 5$ кН. При кожному ступені навантаження беруть відліки на тензометрах. Випробування продовжують до навантаження $F_{max} = 30$ кН. Така методика експеримента дає можливість зменшити вплив імовірних похибок і підтвердити існування лінійної залежності між поздовжніми та поперечними деформаціями в межах пружної роботи матеріалу.

При застосуванні тензодатчиків поздовжню та поперечну відносну деформації обчислюють за формулами (див. 1.7)

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell_1}{\ell_1} = \frac{1}{K_1} \frac{\Delta R_1}{R_1};$$

$$\varepsilon' = \frac{\Delta \ell_2}{\ell_2} = \frac{1}{K_2} \frac{\Delta R_2}{R_2}.$$

де ℓ_1 та ℓ_2 - бази відповідно поздовжнього 1 та поперечного 2 тензометрів;

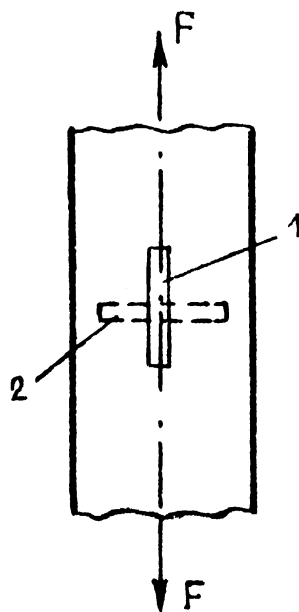


Рис. 34.

$\Delta\ell_1$ та $\Delta\ell_2$ - абсолютне подовження та звуження зразка в межах баз тензодатчиків 1 та 2, що відповідають одному ступеню навантаження ΔF ;

R_1 та R_2 - початковий електричний опір тензодатчиків 1 та 2;

ΔR_1 та ΔR_2 - прирости опору тензодатчиків, що відповідають одному ступеню навантаження ΔF ;

K_1 та K_2 - коефіцієнти чутливості тензодатчиків.

Тоді коефіцієнт Пуассона

$$\nu = -\frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = -\frac{\Delta R_2 \cdot R_1 \cdot K_1}{\Delta R_1 \cdot R_2 \cdot K_2}.$$

Оскільки при випробуванні використовують тензодатчики однієї бази, однієї тензочутливості $K_1 = K_2$ з однаковим початковим опором $R_1 = R_2$, вираження спрощується:

$$\nu = -\frac{\Delta R_2}{\Delta R_1}.$$

Більше того, оскільки виміри виконують за допомогою одного електричного моста, коефіцієнт Пуассона можна визначити за відношенням відліків n_1 та n_2 , одержаними на вимірювальному приладі:

$$\nu = \frac{n_2}{n_1}.$$

Контрольні запитання

1. Що таке коефіцієнт Пуассона?
2. Які з деформацій, поздовжні чи поперечні, при розтягу більше за модулем?
3. Які зразки використовують для випробувань?
4. Назвіть межі, в яких повинен знаходитись коефіцієнт Пуассона в усіх випадках.
5. Які з наведених нижче величин не можуть бути значеннями коефіцієнта Пуассона для сталі: 0,5; 0,28; 0,15?

2.6. Лабораторна робота №6

Випробування сталі на зріз

Мета роботи: вивчення характеру руйнування, визначення тимчасового опору сталі при зсуві.

Випробувальна машина та прилади

Випробування проводять на випробувальній машині УВМ-50 (п. 1.1) або іншій.

Зразок для випробувань

Для випробувань використовують сталевий циліндричний зразок діаметром $d_0 = 2$ см і довжиною 14 см. Зразок вкладають у отвір пристрою, схема якого наведена на рис. 35.

Під дією навантаження, утвореного випробувальною машиною, середня частина пристрою зсувається разом з середньою частиною зразка відносно крайніх нерухомих частин. У місцях дотику середньої й крайніх частин має місце зсув (точніше – зріз) зразка. Робоча площа A_0 зрізу дорівнює подвоєній площі поперечного перерізу зразка.

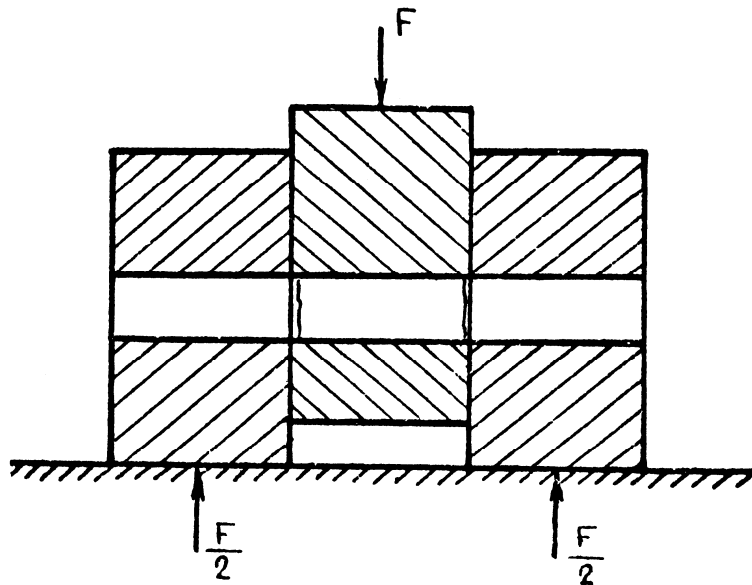


Рис. 35.

Основні відомості з теорії

Зсув має місце в тому випадку, коли два нескінченно близьких паралельних перерізи намагаються зміститися один відносно іншого, залишаючись нескінченно близькими та паралельними. Якщо всі точки одного перерізу зміщуються відносно іншого однаково за величиною та напрямком, така деформація відповідає чистому зсуву. При цьому дотичні напруження, що протидіють зсуву, будуть рівномірно розподілені в перерізі. Відтворити чистий зсув експериментально неможливо через низку обставин. Тому деформацію зсуву можна наочно відтворити явищем зрізу матеріалу зразка. Межа міцності на зріз визначається за формулою

$$\sigma_{max.c.} = \frac{F_{max}}{2A_0},$$

де F_{max} - максимальне зусилля, що витримав зразок;

A_0 - площа одного зрізу:

$$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4};$$

d_0 - діаметр перерізу зразка.

Послідовність випробувань

Вимірюють діаметр зразка d_0 . Пристрій із закладеним у нього зразком встановлюють між стискуючими площинами випробувальної машини.

Вмикають машину, поступово збільшуючи навантаження. Фіксують значення навантаження F_{max} , що відповідає руйнуванню зразка.

Дані обміру зразка та F_{max} заносять у журнал випробувань.

Обчислюють межу міцності сталі на зріз.

Контрольні запитання

1. Назвіть мету лабораторної роботи.
2. Яку деформацію називають чистим зсувом?
3. Який зразок використовують при випробуванні?
4. Скільки площин зрізу має зразок?
5. Які напруження виникають в площинах зрізу зразка?
6. Чому дорівнює площа зрізу?
7. Як обчислюють межу міцності при зрізі?

2.7. Лабораторна робота №7

Поперечний згин сталевій балки з визначенням модуля пружності

Мета роботи: визначення модуля пружності першого роду (модуля Юнга) E матеріалу балки.

Випробувальна машина та прилади

Випробування виконують на універсальній випробувальній машині УВМ-50 (п.1.1).

Для вимірювання прогинів балки використовують індикатор годинникового типу (п. 1.9).

Зразок для випробувань

Випробування виконують на сталевій балці прямокутного перерізу 3×10 см довжиною 110 см (прольот при згині 100 см). Згин балки запроваджується в

площині найбільшого моменту інерції перерізу. Схема завантаження балки та розміщення приладів наведена на рис. 36.

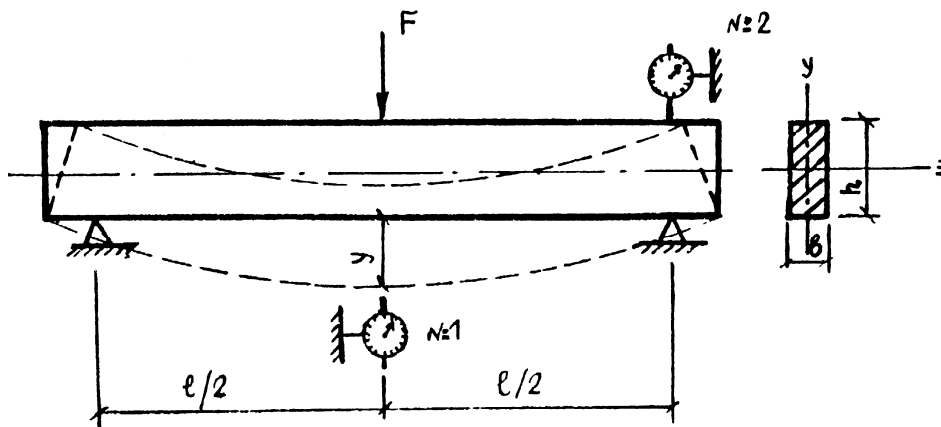


Рис. 36.

Для вимірювання прогину середнього перерізу ставлять індикатор (прогиномір) №1. Індикатор (прогиномір) №2 вимірює осадку балки y_0 в цілому за рахунок пружної деформації матеріалу балки та опори в місці їх контакту.

Основні відомості з теорії

Модуль пружності E_x характеризує опір матеріалу пружній деформації при розтягу. Його значення: для сталі – $2,1 \cdot 10^5$ МПа,
 міді – $1,0 \cdot 10^5$ МПа,
 чавуна – $(0,75 \dots 1,6) \cdot 10^5$ МПа,
 алюмінію – $0,675 \cdot 10^5$ МПа

Модуль пружності експериментально можна визначити з діаграми напружень при розтягу (рис. 37) як тангенс кута нахилу її лінійної частини

$$E = \frac{\sigma_{нц}}{\varepsilon_{нц}} = \operatorname{tg} \alpha.$$

У цій роботі модуль пружності визначають з випробувань сталеві балки на згин. Дійсно, в формулу для аналітичного визначення прогину в середині прольоту балки на двох шарнірних опорах входить модуль E :

$$y = \frac{F\ell^3}{48EI_z}.$$

Вимірявши експериментально значення цього прогину, можна обчислити

$$E = \frac{F\ell^3}{48 \cdot I_z y}.$$

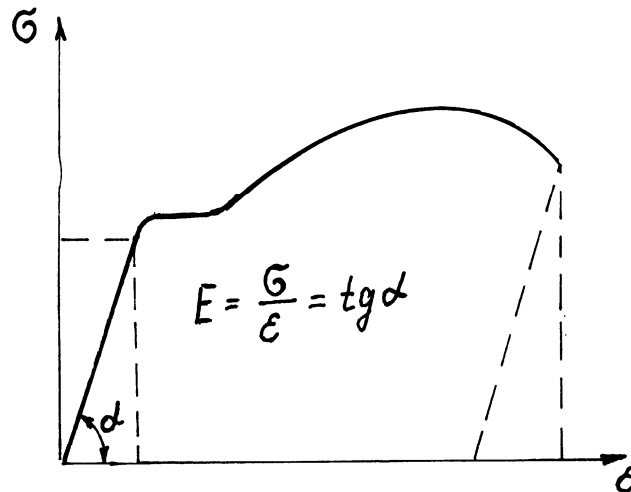


Рис. 37.

Послідовність виконання роботи

Сталеву балку встановлюють на машині, закріплюють індикатори згідно з рис. 36.

Ввімкнувши машину, збільшують навантаження рівними частками по 5кН (500 кгс) і фіксують відповідні відліки A_1 та A_2 на індикаторах.

Найбільше навантаження, до якого виконують випробування, обирають так, щоб нормальні напруження не перевищували межі пропорційності σ_{m1} .

Далі обчислюють середній приріст прогину, що відповідає одній частці навантаження ΔF :

$$\Delta y = \frac{cp\Delta A_2 - cp\Delta A_1}{10} \cdot K, \text{ см},$$

де $cp\Delta A_1$ та $cp\Delta A_2$ - середні прирости відліків індикаторів №1 та №2;
 K - ціна поділки індикатора.

Момент інерції перерізу балки відносно нейтральної осі

$$I_z = \frac{bh^3}{12} \text{ см}.$$

Модуль пружності визначають з формули прогину балки:

$$E = \frac{\Delta F \cdot \ell^3}{48I_z \cdot \Delta y}.$$

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Для чого потрібно знати модуль пружності?
3. Як аналітично одержати формулу прогину балки?
4. Чому в роботі використовують два індикатори?

2.8. Лабораторна робота №8

Визначення нормальних напружень уздовж висоти перерізу при згині балки прямокутного перерізу

Мета роботи: експериментальна перевірка лінійного закону розподілу нормальних напружень уздовж висоти перерізу сталеві балки та порівняння результатів експерименту з теоретичними значеннями.

Випробувальна машина та прилади

Роботу виконують на випробувальній машині УВМ-50 (п. 1.1). Для вимірювання деформацій використовують важельні тензометри (п. 1.6).

Зразок для випробувань

Для роботи потрібна сталева балка прямокутного перерізу висотою 10 см, шириною 3 см. Довжина балки становить 110 см. Модуль пружності сталі $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

Схема завантаження балки та розташування тензометрів наведена на рис. 38.

Балку встановлюють на шарнірні опори A та B випробувальної машини, відстань між якими $L=100$ см. Для забезпечення симетричного завантаження застосовують допоміжну балку CD , що передає навантаження на балку AB через опори C та D , розташовані на відстані $a=30$ см. Для визначення напружень (деформацій) в зоні чистого згину (ділянка CD) встановлюють уздовж висоти 5 тензометрів. Координати розміщення тензометрів: $y_1=4,5$ см; $y_2=2,5$ см; $y_3=0$ (нейтральна вісь); $y_4=-2,5$ см; $y_5=-4,5$ см.

Основні відомості з теорії

З курсу опору матеріалів відомо, що при визначенні нормальних напружень при згині приймають гіпотезу плоских перерізів (гіпотезу Бернуллі).

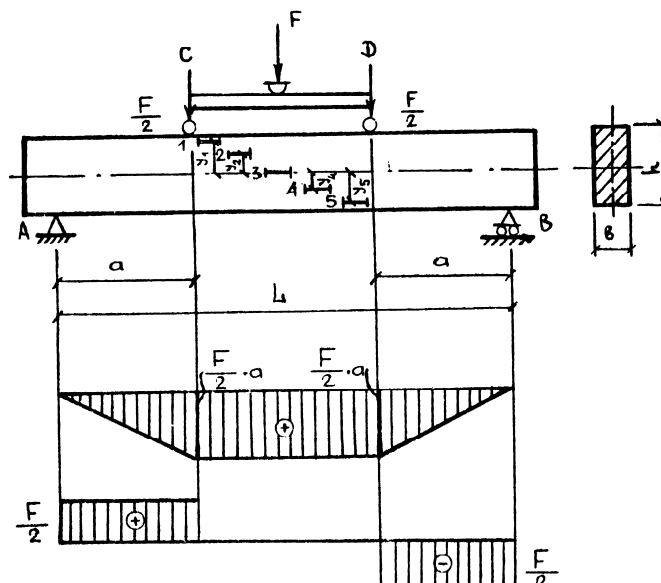


Рис. 38.

При плоскому згині в межах пружної роботи матеріалу балки напруження у точках поперечного перерізу визначають за формулою Нав'є:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_z}, \quad (\text{а.})$$

де M - згинаючий момент у перерізі балки;

y - відстань від нейтральної осі до тієї точки перерізу, в якій визначають напруження;

I_z - момент інерції перерізу відносно нейтральної осі.

Найбільші нормальні напруження виникають у найбільш віддалених від нейтральної осі точках перерізу:

$$\sigma_{\max} = \frac{M \cdot y_{\max}}{I_z} = \frac{M}{W_z}, \quad (\text{б.})$$

де W_z - момент опору перерізу відносно нейтральної осі.

Для перевірки гіпотези плоских перерізів достатньо перевірити дійсність формули (а.) для кількох точок перерізу, тобто порівняти напруження, знайдені експериментальним шляхом та за означеною формулою.

При чистому згині поперечна сила в перерізах відсутня, отже зсув відсутній і дотичні напруження $\tau = 0$. Нормальні напруження будуть однакові для волокна балки, що знаходиться на одній відстані від нейтральної осі в усій зоні чистого згину. Це дозволяє розташувати тензометри для виміру деформацій у різних перерізах зони чистого згину, а визначені напруження віднести до одного перерізу.

Для визначення нормальних напружень за результатами випробувань використовують закон Гука:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E, \quad (\text{в.})$$

де ε - відносна лінійна деформація за вимірами тензометра;

E - модуль пружності матеріала балки.

Послідовність виконання роботи

При початку випробувань необхідно вибрати вільний рух в тензометрах, тому перший відлік знімають на всіх п'яти тензометрах при навантаженні 5 кН (500 кГс). Далі навантаження збільшують ступенями по 5 кН до 30 кН (3000 кГс). На кожному ступені навантаження відліки тензометрів записують в журнал лабораторних робіт.

Найбільше навантаження при випробуванні (30 кН) обирають так, щоб напруження не перевищували межі пропорційності матеріалу балки.

У журналі лабораторних робіт обчислюють теоретичні (а.) та експериментальні (в.) значення напружень в усіх п'яти точках. Порівнюючи ці значення, обчислюють різницю у відсотках. Для наочності за одержаними даними будують епюри нормальних напружень уздовж висоти перерізу, накладаючи експериментальну й теоретичну епюри одна на іншу. Відхилення

експериментальних значень напружень від теоретичних обумовлені похибками випробувань та прийнятим умовним модулем пружності, який може відрізнятися від дійсного.

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Як залежить величина нормальних напружень від розташування точки вздовж висоти перерізу?
3. Якими приладами вимірюють деформації?
4. Яку пружну характеристику матеріалу необхідно знати для обчислення напружень за деформаціями?

2.9. Лабораторна робота №9

Випробування сталевого циліндричного зразка на кручення

Мета роботи: вивчення поведінки матеріалу при крученні; визначення межі пропорційності $\tau_{пл}$, межі міцності τ_{max} та модуля пружності G при зсуві.

Випробувальна машина та прилади

Випробування зразка на кручення виконують на машині АМ-1 (п. 1.3).

Для вимірювання кутів закручення зразка можуть використовуватись механічний та дзеркальний тензometri. У цій роботі користуються дзеркальним тензометром Мартенса (п. 1.8).

Зразок для випробувань

У роботі використовують стандартний циліндричний зразок ($d=0,8$ см, $\ell=10$ см – розрахункова довжина). Модуль пружності першого роду матеріалу зразка E , коефіцієнт поперечної деформації (Пуассона) μ відомі. Зразок і схема діючих на нього сил наведені на рис. 45.

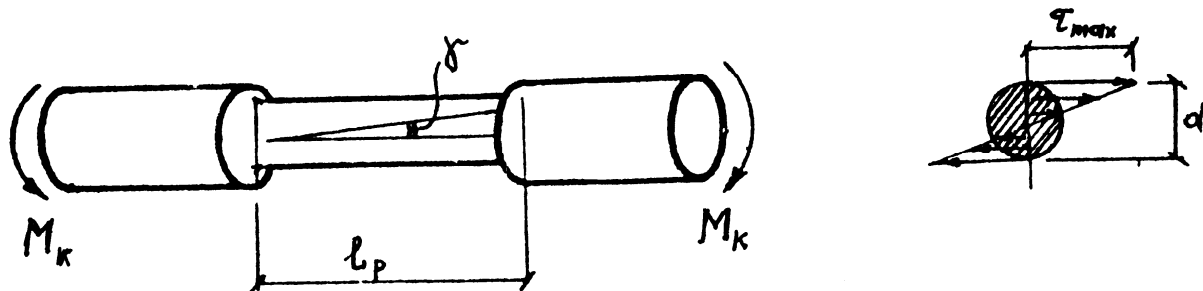


Рис. 45.

Основні відомості з теорії

При крученні зразка в точках його перерізу виникають дотичні напруження

$$\tau = \frac{M_k \cdot \rho}{I_\rho},$$

де M_k - крутний момент у перерізі,

ρ - відстань від центра кручення перерізу (центра круглого перерізу) до точки, в якій визначають напруження,

$$I_\rho = \frac{\pi d^4}{32} - \text{полярний момент інерції круглого перерізу.}$$

Найбільшого значення дотичні напруження досягають у точках перерізу на поверхні зразка при $\rho = \rho_{\max} = r$:

$$\tau_{\max} = \frac{M_k \cdot r}{I_\rho} = \frac{M_k}{W_\rho},$$

$$\text{де } W_\rho = \frac{I_\rho}{r} = \frac{\pi d^3}{16} - \text{момент опору крученню круглого перерізу.}$$

Модуль пружності при зсуві можна знайти з формули для кута закручення зразка

$$\theta = \frac{M_{\text{кнц}} \cdot \ell}{G I_\rho},$$

де $M_{\text{кнц}}$ - крутний момент, що відповідає межі пропорційності, на розрахунковій довжині ℓ зразка,

θ - кут закручення зразка на довжині ℓ ,

G - модуль пружності матеріалу при зсуві.

Отже

$$G = \frac{M_{\text{кнц}} \ell}{\theta I_\rho}.$$

Наведені формули для θ та G дійсні для крутних моментів $M_k \leq M_{\text{кнц}}$, тобто коли матеріал зразка працює в пружній стадії.

Послідовність виконання роботи

Перед випробуваннями вимірюють діаметр d зразка та розрахункову довжину. Зразок закріплюють в зачіпках машини і встановлюють на кінцях його розрахункової довжини дзеркальні тензометри A і B , як показано на рис. 46.

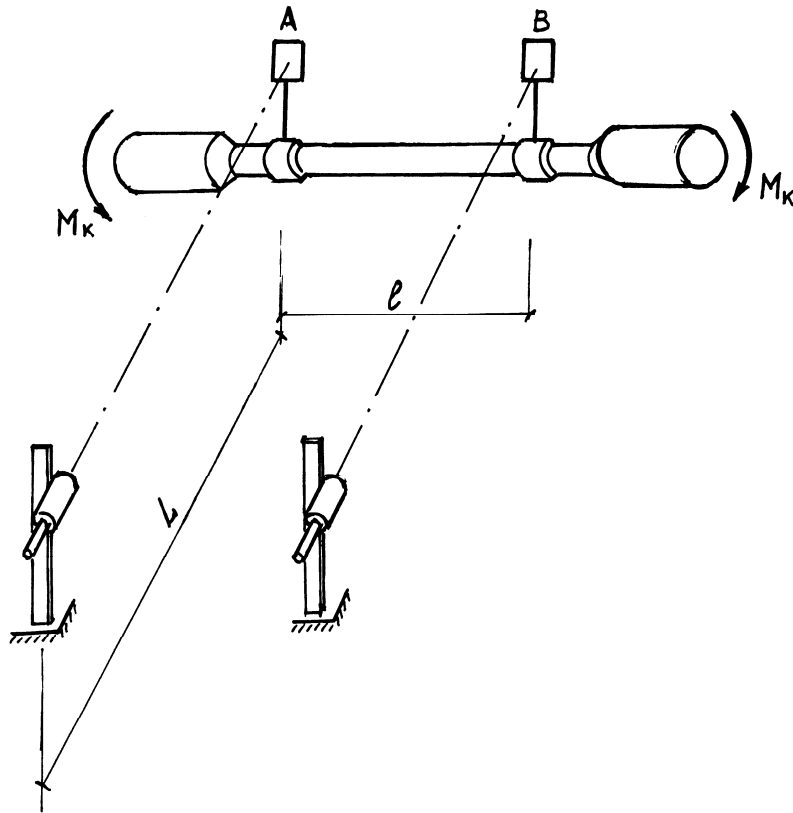


Рис. 46.

Заносять в журнал лабораторної роботи вихідні дані d , ℓ , L , E , μ .

Навантаження – крутний момент – прикладають однаковими частками ΔM_k . Після кожного ступеня навантаження знімають відліки на дзеркальних тензометрах A та B .

Згідно із законом Гука кути закручення $\Delta\theta$, що відповідають однаковим приростам крутного моменту ΔM_k , будуть однакові. Граничне значення моменту, до якого дійсний закон Гука дає момент $M_{k\text{нц}}$, що відповідає межі пропорційності. Отже

$$\tau_{\text{нц}} = \frac{M_{k\text{нц}}}{W_\rho}.$$

Після досягнення $M_{k\text{нц}}$ тензометри знімають і продовжують збільшувати навантаження. Межу міцності при зсуві знаходять за значенням моменту $M_{k\text{мах}}$, що відповідає руйнуванню зразка:

$$\tau_{\text{мах}} = \frac{M_{k\text{мах}}}{W_\rho}.$$

Для визначення модуля пружності при зсуві обчислюють середній приріст різниць показників тензометрів у межах пружної роботи матеріала зразка

$$\Delta_{cp} = \frac{\Sigma(\Delta A - \Delta B)}{n} = \frac{\Sigma(A + B)}{n},$$

де n - число ступенів навантаження до межі пропорційності.

За одержаними значеннями знаходять середній приріст кута закручення:

$$\Delta\theta = \frac{\Delta_{cp}}{2\ell}$$

та модуль пружності при зсуві

$$G = \frac{\Delta M_{\kappa} \cdot \ell}{\Delta\theta \cdot I_{\rho}}.$$

Діаграму кручення будують в масштабі за відповідними точками (рис. 47).

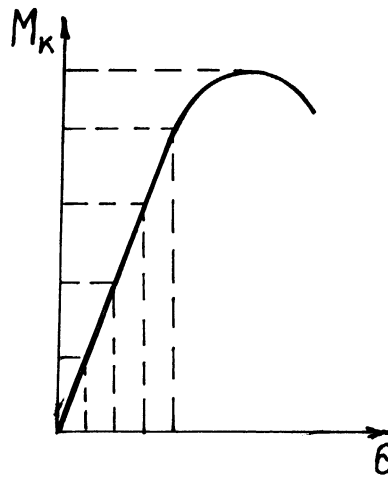


Рис. 47.

Контрольні запитання

1. Яка мета лабораторної роботи?
2. Як визначають теоретичні дотичні напруження та кути закручення?
3. Де діють найбільші дотичні напруження в перерізі циліндричного стержня при його крученні?
4. Як працює машина АМ-1?
5. Який принцип роботи дзеркального тензометра Мартенса?
6. Чи пов'язані між собою значення модулів пружності E та G ?

2.10. Лабораторна робота №10

Визначення питомої ударної в'язкості сталі

Мета роботи: визначення питомої ударної в'язкості сталі.

Випробувальна машина та прилади

Випробування на ударну в'язкість виконують на маятниковому копрі (п. 1.4).

Зразок для випробувань

Для випробувань використовують зразки типів I... V (рис. 54). Їх виконують з надрізами, щоб фіксувати місце перелому при випробуванні. Зразки I... III відрізняються глибиною прорізи, зразок IV має іншу форму прорізи, а зразок V зменшену ширину перерізу.

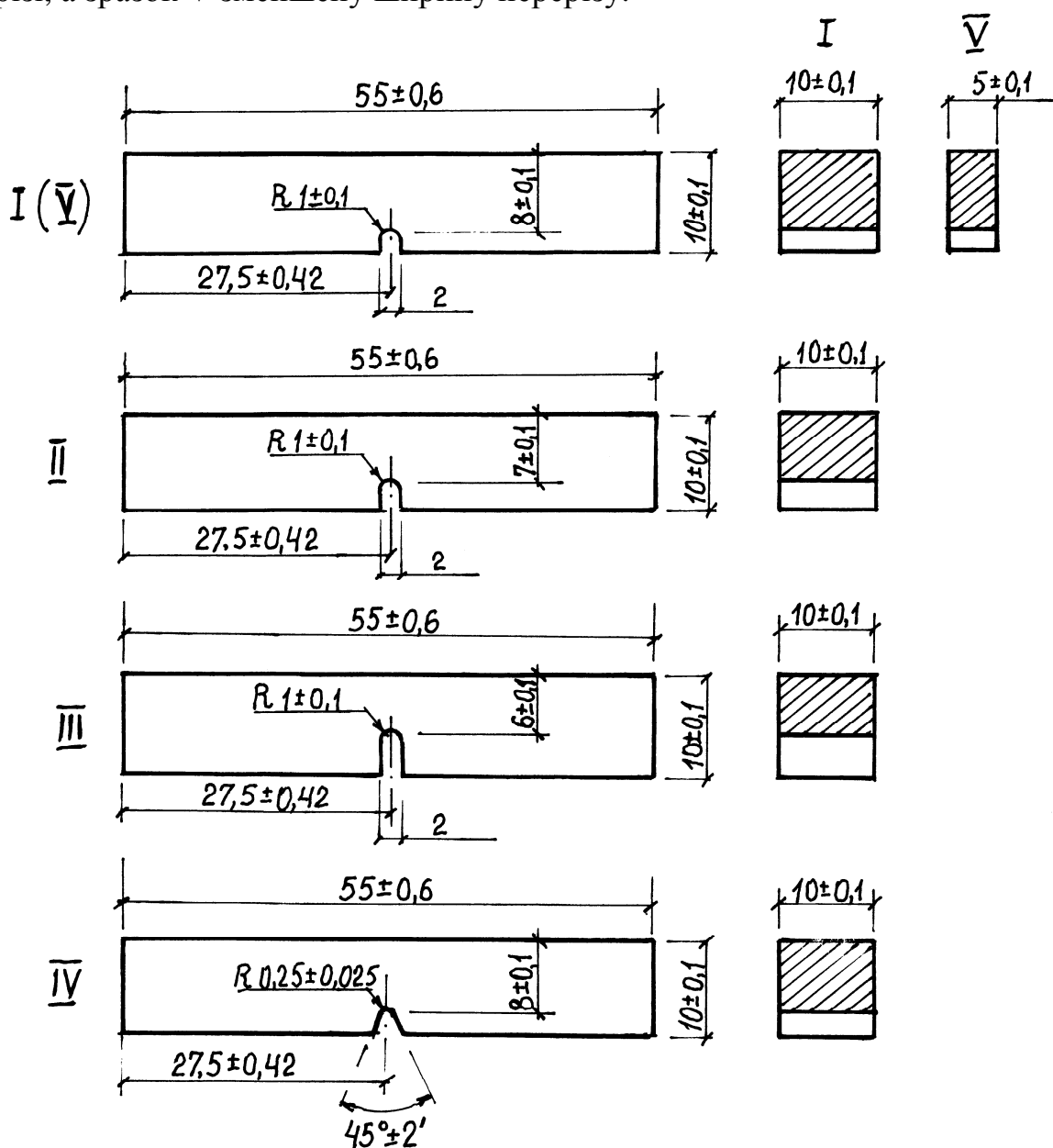


Рис. 54.

Зразки вирізають на металорізальних верстатах при умовах, що виключають наклеп та нагрів, щоб не змінити властивостей металу. Остаточну обробку виконують на металошліфувальних верстатах. Надріз здійснюють фрезеруванням або абразивним каменем.

Основні відомості з теорії

Ударна в'язкість – це складна комплексна характеристика, яка залежить від низки більш простих механічних властивостей. Останні визначають при статичних випробуваннях, тобто під дією дуже повільно зростаючих навантажень, отже вони не можуть характеризувати здатність матеріалу протистояти ударному навантаженню. Випробування на ударну в'язкість належать до динамічних видів випробувань, які застосовують для того, щоб оцінити здатність матеріалів протистояти ударним навантаженням та виявити їх схильність до крихкого руйнування.

Ударна в'язкість характеризується питомою роботою, витраченою на руйнування зразка:

$$d = \frac{W}{A},$$

де W - робота, витрачена на руйнування зразка,

A - площа перерізу зразка у місці надрізу.

Послідовність виконання роботи

Перед початком випробувань заміряють зразок і записують величини b – ширину та h – висоту перерізу в місці надрізу.

Зразок кладуть горизонтально в спеціальний шаблон, який забезпечує розташування надрізу точно посередині прольоту (рис. 55).

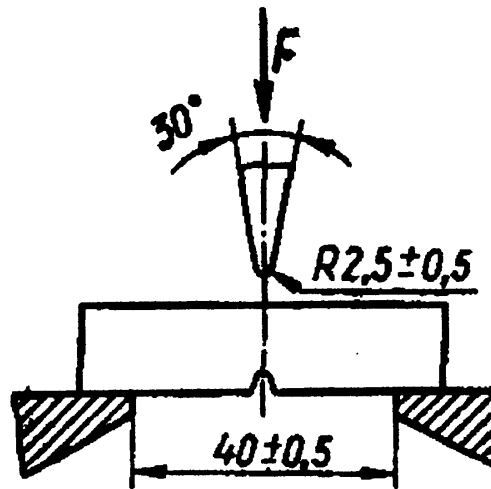


Рис. 55.

Удар виконують з боку, протилежного надрізу, в площині, перпендикулярній до поздовжньої осі зразка. На шкалі копра знімають відлік, який дає величину роботи W , витрачену на руйнування зразка.

Обчисливши площу перерізу зразка $A = b \cdot h$, визначають питому роботу руйнування зразка – питому ударну в'язкість.

Контрольні запитання

1. Для чого застосовують динамічні випробування?
2. Що таке питома ударна в'язкість?
3. Для чого роблять надріз на зразках?
4. На якій машині проводять випробування?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методические указания к выполнению лабораторных работ по сопротивлению материалов. В.П.Пустовойтов, Г.Е.Петушков, Ю.М.Смолянинов, В.Л.Ингульцов, Н.В.Середа, И.А.Палевский, Л.П.Кушнырь. – Харьков: ХИИГХ, 1991. – 80 с.
2. Сопротивление материалов /Под ред. Г.С.Писаренко. – 5-е изд. – К.: Высш. шк., 1986.
3. Цурпал И.А., Барабан Н.П., Швайко В.М. Сопротивление материалов, лабораторные работы. – 2-е изд. – К.: Высш. шк., 1988.

Таблиця 1 -Механічні характеристики деяких сталей

Матеріал	Марка	Межа		Відносне подовження ϵ	Відносне звуження ψ	Твердість за Брінелем НВ	Ударна в'язкість КС кДж/м ²
		текучості σ_t , МПа	міцності σ_{max} , МПа				
Сталь вуглецева: звичайної якості Гарячекатана	Ст. 2	220	340... 420	0,31	—	140	
	Ст. 3	240	380... 470	0,25... 0,27	—	—	
	Ст. 4	260	420... 520	0,23.. 0,25	—	—	
	Ст. 5	280	500... 620	0,19... 0,21	—	—	
Сталь вуглецева: якісна Конструкційна	30	290	480	0,21	0,5	179	300... 400
	35	310	520	0,20	0,45	187	250... 350
	40	320	570	0,19	0,45	217	260... 300
	45	340	600	0,16	0,40	241	200... 300
	50	350	630	0,14	0,40	241	250... 300
Сталь хромиста	40х	800	1000	0,10	0,45	217	600
	50х	900	1100	0,08	0,40	229	400
Сталь хромонікелева	40ХН	800	1000	0,11	0,10	207	700
	50ХН	900	1100	0,09	0,08	207	500

Таблиця 2 - Механічні характеристики деяких чавунів

Матеріал	Марка	Межі міцності, МПа при					Стріла прогину (м) при відстані між опорами 0,6 м	Твердість за Брінелем НВ	Ударна в'язкість за Брінелем НВ	Межа витривалості Мпа	
		розтягу	тиску	згині	зрізі	крученні				гладкого зразка при згині	при крученні
Модифікований чавун	сч 21	210	750	400	220	280	0,009	171... 241	90	100	80
	сч 24	240	850	440	300	300	0,009	190... 220	90	120	100
	сч 28	280	1000	480	350	350	0,009	170... 240	100	140	110
Ковкий чавун	кч 30-3	200	—	490	280	340	—	160	80	120	110
	кч 33-8	210	—	530	290	345	—	160	130	130	120
	кч 35-10	220	—	570	300	350	—	150	140	140	130

Яковенко М.М., Беляєва В.М. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Металознавство» (для студентів 2 курсу денної і заочної форм навчання спеціальності 7.092601 – «Водопостачання і водовідведення»).

Укладачі: М.М.Яковенко,
В.М.Беляєва

Редактор: З.М.Москаленко

План 2008, поз. 342 М

Підп. до друку 19.03.08	Формат 60 x 84 1/16	Папір офісний
Друк. на ризографі	Умовн.-друк. арк. 3,1	Обл.-вид. арк. 3,6
Тираж 100 прим.	Зам. №	

61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12

Сектор оперативної поліграфії ІОЦ ХНАМГ
61002, м. Харків, вул. Революції, 12